



Einfluss und Wirkung von Dünnschichtbelägen auf die In-Situ-Eigenschaften von Asphaltoberbauten

Influence et effets des revêtements minces sur les caractéristiques in situ des chaussées bitumineuses

Effect and influence of thin surfaces on the in-situ behaviour of asphalt pavements

C. Raab, Dipl.-Ing.
M. N. Partl, Dr. sc. tech., dipl. Ing. ETH
Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
Abteilung Strassenbau/Abdichtungen

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation/ Bundesamt für Straßen
Forschungsauftrag VSS 1998/084 (25/98) „Einfluss und Wirkung von Unterhaltsmaßnahmen auf die In-Situ-Eigenschaften von Asphaltbelägen“

Zusammenfassung

Durch die Zunahme von Verkehrslasten und -beanspruchungen steigt der Bedarf an Unterhaltsmaßnahmen rapide an. Gleichzeitig zwingen immer knapper werdende Mittel, diese Unterhaltsmaßnahmen möglichst kostengünstig zu gestalten und wenig zeitintensiv abzuwickeln. Eine der Maßnahmen, die in diesem Zusammenhang stark an Popularität gewinnt, stellt die Aufbringung von Dünnschichtbelägen im Heiß- und Kalteinbau dar.

Der zunehmenden Bedeutung der oben genannten Maßnahmen zum Trotz fehlen allerdings heute weitgehend Prüfverfahren und Kriterien, um beispielsweise Dünnschichtbeläge hinsichtlich mechanischer Eigenschaften und Wirkungsweise beurteilen und ihren Einfluß auf die In-Situ-Eigenschaften des Belagsaufbaus abschätzen zu können. Aus diesem Grunde wurde die EMPA seitens des Bundesamtes für Straßen ASTRA im Rahmen der Straßenbauforschung mit der Durchführung des Forschungsvorhabens VSS1998/084 „Einfluß und Wirkung von Unterhaltsmaßnahmen auf die In-Situ-Eigenschaften von Asphaltbelägen“ beauftragt.

Das im Auftragschreiben formulierte Ziel des Forschungsprojekts umfaßt die Bestimmung von Einfluß und Wirkung von Unterhaltsmaßnahmen auf die In-Situ-Eigenschaften und das Verhalten von Asphaltbelägen, wobei im Heiß- und im Kalteinbau ausgeführte Unterhaltsmaßnahmen berücksichtigt werden sollten. Entsprechend sollte das Projekt der Erarbeitung von Beurteilungskriterien für die Normung und als Basis zur Festlegung von Anforderungen dienen. Ein zentrales Element des Projekts war dabei die Ermittlung des Belagsverhaltens vor und unmittelbar nach der Ausführung einer Unterhaltsmaßnahme.

Die bei der Durchführung der Forschungsarbeit gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen, daß das Thema „Dünnschichtbeläge“ im Rahmen einer einzigen Forschungsarbeit nicht erschöpfend behandelt werden konnte, wobei es in Zukunft wichtig ist, grundsätzlich zwischen den im Heißeinbau hergestellten Dünnschichtbelägen mit einer Dicke größer 20 mm und Kaltmikrobelägen mit einer Dicke kleiner 20 mm zu unterscheiden.

Heiße Dünnschichtbeläge können weitgehend nach den auch für andere im Heißeinbau eingebrachte Beläge gültigen Normen und Vorschriften geprüft werden. So zeigen die im Rahmen der Untersuchungen durchgeführten Schichtenverbunduntersuchungen, daß die mit der direkten Abscherprüfung bestimmte Schichthaftung durchaus Werte erreicht, wie sie für heiß eingebaute Deckschichten üblich sind. Ebenfalls können aus der Untersuchung der Wasserempfindlichkeit und im Fall hochstandfester heißer Dünnschichtbeläge aus der Prüfung des Widerstands gegen Spurrinnenbildung durchaus Aussagen über die Eigenschaften dieser Beläge gewonnen werden.

Für die im Kalteinbau erstellten Dünnschichtbeläge können aufgrund der durchgeführten Untersuchungen Empfehlungen zur Prüfung der Schichthaftung und des Griffigkeitsverhaltens gemacht werden:

Da der Verbund zur Unterlage gerade für sehr dünne Schichten extrem wichtig ist, sind gute Verbundeigenschaften eine unabdingbare Voraussetzung für die Haltbarkeit und Dauerhaftigkeit solcher Belagsaufbauten. Hier konnte sowohl anhand der direkten Abscherprüfung mit aufgeklebter Stahlplatte als auch mit Hilfe der Haftzugprüfung (in situ und Laborvariante) gezeigt werden, daß die Schichthaftung von Kaltmikrobelägen auf diese Weise geprüft werden kann und daß dabei durchaus akzeptable Werte für den Verbund erreicht werden.

Die Resultate der Untersuchung von Kaltmikrobelägen mit dem Griffigkeitsverfahren nach Wehner-Schulze machen deutlich, daß das Griffigkeitsverhalten der Belagsoberfläche durch das Aufbringen eines Kaltmikrobelags eindeutig verbessert werden kann. Sie zeigen insgesamt, daß das Prüfverfahren nach Wehner-Schulze durchaus für eine Prognose der Griffigkeitsentwicklung eines kalten Dünnschichtbelages herangezogen werden kann, wobei das in der Schweiz bisher nicht übliche Verfahren im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten auf seine Aussagefähigkeit hin überprüft werden müßte. Von einer Beurteilung des Griffigkeitsverhaltens mit dem SRT-Pendel sollte nach den im Bericht dargestellten Ergebnissen in diesem Fall eher verzichtet werden.

Insgesamt handelt es sich bei der hier dargestellten Forschungsarbeit um eine erste Untersuchung verschiedener im Heiß- und Kalteinbau erstellter Dünnschichtbeläge, die keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann. Dafür ist die Anzahl der verfügbaren, untersuchten Beläge und Belagssorten zu gering und zu wenig unterschiedlich. Insbesondere bei den Kaltmikrobelägen ist die Zusammensetzung in allen Fällen praktisch identisch. In weiteren Forschungsarbeiten sollte daher eine größere Variationsbreite unter den kalt eingebauten Dünnschichtbelägen berücksichtigt werden; nötigenfalls begleitet durch gezielt im Labor unter definierten Bedingungen hergestellte Prüfkörper.

Résumé

L'augmentation des charges et des sollicitations dues au trafic routier entraîne un accroissement rapide des mesures d'entretien nécessaires. Simultanément des restrictions financières toujours plus sévères contraignent à une économie de moyens et de temps dans la réalisation de ces mesures d'entretien. Une des mesures qui devient de plus en plus populaire dans ce contexte est l'application de revêtements minces à froid ou à chaud.

Malgré le gain d'importance de ces mesures, on ne disposait pas encore des méthodes d'essai et des critères d'évaluation nécessaires pour évaluer par exemple les caractéristiques mécaniques d'un revêtement mince et leur influence sur celles de l'ensemble de la structure du revêtement de la chaussée. C'est les raisons qui ont conduit l'Office fédéral des routes (OFROU) à confier à l'EMPA dans le cadre de son programme de recherche en construction routière l'exécution du projet VSS1998/084 «Influence et effets des mesures d'entretien sur les caractéristiques in situ des revêtement bitumineux».

Le but formulé dans la définition du mandat de recherche comprend la détermination de l'influence et des effets des mesures d'entretien sur les caractéristiques in situ et sur le comportement des revêtement bitumineux pour des mesures d'entretien réalisées avec des enrobés à chaud ou à froid. Ce projet devait ainsi aussi servir à la détermination de critères d'évaluation pour l'établissement de normes et de base pour la fixation d'exigences. La détermination du comportement du revêtement avant et immédiatement après la réalisation d'une mesure d'entretien constituait un élément central de ce projet.

Les résultats acquis dans ce travail projet montrent qu'à lui seul ce projet de recherche ne pouvait suffire pour traiter de manière exhaustive le thème des „revêtements minces“ et qu'à l'avenir il serait important d'aborder séparément les revêtements minces posés à chaud d'une épaisseur supérieure à 20 mm et les micro-revêtements à froid d'une épaisseur inférieure à 20 mm.

Les essais des revêtements minces posés à chaud peuvent s'effectuer selon les mêmes normes et prescriptions que pour les autres revêtements posés à chaud. Ainsi il est apparu lors de l'examen de l'adhérence entre les couches que les valeurs d'adhérence obtenues avec l'essai de cisaillement direct atteignaient des valeurs tout à fait comparables à celles obtenues pour les couches de roulement posées à chaud. Les essais de sensibilité à l'eau, ainsi que pour les revêtements mince à chaud à haute résistance l'essai de résistance à l'orniérage, fournissent des informations sur les caractéristiques de ces revêtements.

Pour les revêtements minces posés à froid, les essais réalisés permettent de formuler des recommandations pour la détermination de l'adhérence entre les couches et des propriétés antidérapantes:

La liaison avec le support étant extrêmement importante et cela plus particulièrement pour les couches très minces, de bonnes caractéristiques d'adhérence sont une condition indispensable pour la durabilité de ces revêtements. Les résultats obtenus tant avec l'essai de cisaillement direct qu'avec l'essai d'adhérence par traction (variantes in situ et en laboratoire) montrent que ces essais se prêtent bien à la détermination de l'adhérence des micro-revêtements bitumineux à froid et que ces derniers atteignent des valeurs d'adhérence tout à fait acceptables.

Les résultats de la détermination des propriétés antidérapantes des micro-revêtements à froid avec la méthode Wehner-Schulze montrent clairement que la pose d'un tel micro-revêtement permet d'améliorer nettement les propriétés antidérapantes de la surface de la chaussée. Ils montrent d'une manière générale que l'essai Wehner-Schulze peut parfaitement s'utiliser pour établir un pronostic du développement des caractéristiques antidérapantes d'un revêtement mince à froid. Toutefois la fiabilité de cette méthode, qui n'est pas usuelle en Suisse, devrait être vérifiée dans le cadre d'autres travaux de recherche. Les résultats obtenus avec le pendule SRT montrent qu'il faudrait renoncer ici à cette méthode pour l'évaluation des caractéristiques antidérapantes

Le travail de recherche présenté ici est consacré à une première étude de différents revêtements minces posés à chaud et à froid et n'a aucune prétention d'exhaustivité. Le nombre des revêtements et des types d'enrobés disponibles pour ces examens étaient trop faibles et différaient trop peu entre eux pour cela. En particulier les micro-revêtements présentaient presque tous une composition quasiment identique. Les travaux de recherche ultérieurs devraient englober pour les revêtements minces à froid une plus grande gamme de variation et comprendre aussi au besoin des essais sur des éprouvettes de laboratoire confectionnées dans des conditions définies.

Summary

The increasing number of vehicles and higher axle loads have resulted in the need for increased road maintenance. At the same time, decreasing budgets make it necessary to perform these maintenance actions in a more time-efficient and cost-effective way. In this context the use of hot and cold thin surfaces on existing road structures has become a popular strategy.

Despite the importance of the measures mentioned, there are no test methods or criteria available today to determine, for example, the mechanical properties and the influence of thin surfacing, or its effects on the in-situ behaviour of asphalt pavements. For this reason, the EMPA was appointed by the Swiss Road Authority, ASTRA, to carry out a research project entitled "The effect and influence of maintenance actions on the in-situ behaviour of asphalt pavements", VSS1998/084.

The aim of the project, as laid down in the research mandate, was to evaluate the effects and influence of maintenance actions on the in-situ properties and behaviour of asphalt pavements, taking into account hot and cold applied thin surfaces. This would assist in the determination of assessment criteria for standardization purposes, and serve as a basis for the definition of requirements. An important element of the project was the determination of the pavement behaviour before and after the application of a maintenance measure.

The findings made during the project illustrate that the subject of "thin surfacing" cannot be dealt with exhaustively within the scope of a single research study. In future it will be important to distinguish clearly between hot applied thin surfaces with a height of more than 20 mm and cold applied thin surfaces with a height of less than 20 mm.

Hot applied thin surfaces can be tested more or less according to the standards and test recommendations used for other hot applied pavements. As a result of adhesion testing carried out as a part of this project it was shown that, for the direct shear test, data comparable to that for ordinary asphalt pavements was obtained. Similarly, using the results of the water sensitivity test and rutting test for high traffic volume pavements, it was possible to make reasonably good predictions of the pavement properties.

On the basis of the results of the study regarding cold applied thin surfaces, the following recommendations for testing the adhesion and the skid resistance can be made:

As the bond to the substrate is extremely important for thin surfaces, good adhesion properties are essential. Bearing this in mind, the results from the testing of cold thin surfaces, e.g. direct shear adhesion with a glued steel plate, and pull-off test (by both in-situ and laboratory methods) – show that the thin surfaces are quite resistant. These methods therefore offer a good way of testing such pavements.

Results from skid resistance testing by the Wehner-Schulze technique clearly indicate that the long term friction properties (skid resistance and abrasion) of a road surface can be improved by the application of a cold micro-surfacing. With regard to cold thin surfacing, the Wehner-Schulze test offers a method to simulate traffic and to determine the resistance of a pavement surface against the polishing effect of vehicle tires on a road. As this method is not common in Switzerland further research work is required to fully evaluate it. The results of the study do show, however, that the determination of the skid resistance with the SRT pendulum cannot be recommended.

All in all, this research project should be viewed as a first step in the evaluation of hot and cold applied thin surfacings, and it therefore does not claim to be complete, given that the number of investigated pavements is small and the types of pavement are too similar. In particular, for the cold applied thin surfaces, all the pavement compositions considered were nearly identical. Future research projects should therefore investigate a larger variety of cold thin surface types. If necessary this should be accompanied by tests on defined laboratory specimens.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	10
2	Zielsetzung des Forschungsprojekts	11
2.1	Zielsetzung	11
2.2	Vorgehen	12
2.3	Problematik, Abgrenzung und Änderung der Aufgabenstellung	13
3	Stand der Forschung	15
3.1	Allgemeines	15
3.2	Dünnschichtbeläge im Kalteinbau DSK	15
3.3	Dünnschichtbeläge im Heißeinbau DSH	16
4	Untersuchung an Belägen	18
4.1	Auswahl der Strecken	18
4.2	Beschreibung des Zustands vor der Sanierung	19
4.2.1	Entnahmestelle K1	19
4.2.2	Entnahmestelle K2	20
4.2.3	Entnahmestelle K3	21
4.2.4	Entnahmestelle K4	22
4.2.5	Entnahmestellen H1 und H2	22
4.3	Einbau des Dünnschichtbelags und Situation nach Einbau	23
4.3.1	Kaltnikrobelag	23
4.3.2	Heiß eingebaute Beläge	24
4.4	Entnahme der Belagsausschnitte	25
4.5	Mischgut- und Belagsuntersuchungen	26
4.6	Schichtenverbund	26
4.6.1	Haftzugprüfungen	26
4.6.2	Abscherprüfung	28
4.7	Mechanische Kennwerte KAST	28
4.8	Wasserempfindlichkeit	29
4.9	Griffigkeitsbestimmung	30
4.9.1	Anfangsgriffigkeit mit dem SRT (Skid Resistance Tester) Pendel	30
4.9.2	Griffigkeit nach Wehner-Schulze	30
4.10	Widerstand gegen Spurrinnenbildung	32

5	Resultate und Auswertung	33
5.1	Mischgut- und Belagsuntersuchungen.....	33
5.2	Schichtenverbund.....	35
5.2.1	Haftzugprüfungen.....	35
5.2.2	Abscherprüfung	37
5.3	Wasserempfindlichkeit	38
5.4	Mechanische Kennwerte: KAST	39
5.4.1	Kalte Dünnschichtbeläge.....	39
5.4.2	Heiße Dünnschichtbeläge	44
5.5	Griffigkeit	47
5.5.1	Anfangsgriffigkeit mit dem SRT Pendel	47
5.5.2	Griffigkeit nach Wehner-Schulze	48
5.6	Widerstand gegen Spurrinnenbildung.....	49
5.6.1	Kalte Dünnschichtbeläge.....	49
5.6.2	Heiße Dünnschichtbeläge	51
6	Zusammenfassung	53
6.1	Übersicht	53
6.1.1	Kalte Dünnschichtbeläge.....	53
6.1.2	Heiße Dünnschichtbeläge	54
6.2	Allgemeines.....	54
6.3	Schichtenverbund.....	55
6.4	Wasserempfindlichkeit	55
6.5	Mechanische Eigenschaften: KAST	56
6.6	Griffigkeitsuntersuchung	56
6.7	Widerstand gegen Spurrinnenbildung.....	57
7	Umsetzung und Empfehlungen	57
8	Weiteres Vorgehen	59
9	Dank	60
10	Literaturverzeichnis	61
11	Anhang: Abkürzungen	64

1 EINLEITUNG

Zunehmende Verkehrslasten und -beanspruchungen lassen den Bedarf an Unterhaltsmaßnahmen rapide ansteigen. Gleichzeitig zwingen immer knapper werdende Mittel Länder und Gemeinden, diese Unterhaltsmaßnahmen möglichst kostengünstig zu gestalten. Dabei muß allerdings die Frage gestellt werden, ob die auf den ersten Blick günstigste Variante dies auch im Hinblick auf ihre Dauerhaftigkeit und Performance bleibt.

Die Erfassung der Langzeitwirkung von Erhaltungsmaßnahmen ist eine notwendige Voraussetzung für die Prognose des Verhaltens von Asphaltbelägen. Sie dient u.a. der Abschätzung der Wirkungen, die durch verschiedenartige Unterhaltsmaßnahmen oder Maßnahmestrategien im Hinblick auf den zukünftigen Zustand des Asphaltbelags erwartet werden können, und führt somit zu einer wirtschaftlichen und energiesparenden Erhaltung der bestehenden Straßenanlagen. Die Erfassung der Langzeitwirkungen von Unterhaltsmaßnahmen stützt sich dabei hauptsächlich auf Langzeitbeobachtungen an im Betrieb befindlichen Straßenabschnitten oder die Rekonstruktion der Bau- und Erhaltungsgeschichte bestehender Strecken. Die genannten Maßnahmen werden von vielen Bauverwaltungen oder Bauzuständigen, leider oft ad hoc und gesamtheitlich gesehen als Einzellösung durchgeführt, was die Möglichkeit von zusammenfassenden Auswertungen erschwert oder unmöglich macht.

Zudem fehlen weitgehend Prüfverfahren und Kriterien, um beispielsweise Dünnschichtbeläge hinsichtlich mechanischer Eigenschaften und Wirkungsweise beurteilen zu können; z.B. Marshall und andere Verfahren benötigen relativ viel Material und sind nicht praxisgerecht.

Die Wichtigkeit von Forschungsarbeiten bezüglich des Langzeitverhaltens von erneuerten Fahrbahnbelägen zeigt auch das Forschungsprojekt 2/97 mit dem Titel "Untersuchungen über das Langzeitverhalten von erneuerten Fahrbahnbelägen" [1]. Während jenes Projekt sich stark auf die Zustandserfassung und -bewertung 10 bis 15 Jahre alter Belagserneuerungen konzentriert, sollte im hier beschriebenen Forschungsprojekt VSS1998/084 "Einfluß und Wirkung von Unterhaltsmaßnahmen auf die In-Situ-Eigenschaften von Asphaltbelägen" der Einfluß und die Wirkung von Dünnschichtbelägen auf die In-Situ-Belagseigenschaften unmittelbar vor und nach der Ausführung neuer Unterhaltsmaßnahmen analysiert werden. Dies ist eine notwendige Grundvoraussetzung für eine Langzeituntersuchung, welche die Entwicklung von Veränderungen der Belagseigenschaften im Sinne der LTPP (Long Term Pavement Performance) erfaßt [2], [3].

2 ZIELSETZUNG DES FORSCHUNGSPROJEKTS

2.1 Zielsetzung

Das im Auftragsschreiben des ASTRA formulierte Ziel des Forschungsprojekts umfaßt die Bestimmung von Einfluß und Wirkung von Unterhaltsmaßnahmen auf die In-Situ-Eigenschaften und das Verhalten von Asphaltbelägen, wobei im Heiß- und im Kalteinbau ausgeführte Unterhaltsmaßnahmen berücksichtigt werden sollten. Entsprechend sollte das Projekt der Erarbeitung von Beurteilungskriterien für die Normung und als Basis zur Festlegung von Anforderungen dienen.

Das Projekt sollte sich auf eine der bedeutendsten Unterhaltsmaßnahmen, das Aufbringen eines dünnen Deckbelags zur Beseitigung von Rissen, Materialverlusten, Steifigkeitsverlusten konzentrieren und deren Wirkung und Einfluß auf die Belageigenschaften und das Verhalten der Asphaltbeläge in situ und im Labor untersuchen. Hierbei interessierte speziell die Frage, ab welcher Schichtdicke das Aufbringen eines dünnen Deckbelags wirksam ist, bzw. welche Eigenschaften des Belags verändert werden. Wegen der Bedeutung des Dünnschichtbelags als Oberflächenschutz, sollten Schub- und Haftversuche durchgeführt werden.

Wie sich während der Bearbeitung herausstellte (vgl. auch Abschnitt 2.3) war auch die Frage der Griffigkeit von Bedeutung, zumal Griffigkeitsprobleme ein häufiger Grund für die Sanierung mit Dünnschichtbelägen sind. Außerdem sollten auch Dauerhaftigkeitsfragen (Wasserempfindlichkeit) angesprochen werden. Nicht behandelt, obwohl ebenfalls von Bedeutung, wurde der Aspekt des Lärms, da dies den Rahmen dieses Projektes gesprengt hätte.

Ein zentrales Element des Projekts war die Ermittlung des mechanischen Belagsverhaltens (d.h. Belagsmodul und Reißwiderstand) **vor** und unmittelbar **nach** der Ausführung einer Unterhaltsmaßnahme.

Das Projekt gliederte sich dabei in folgende Punkte:

1. Auswahl von geeigneten Objekten.
2. Erfassung des Zustands vor und nach Ausführung der Unterhaltsmaßnahmen.
3. Entnahme von Belagsausschnitten und Bohrkernen vor und nach Ausführung der Unterhaltsmaßnahmen (inkl. Mischgutentnahme bei Belagserneuerung).
4. Bestimmung der Eigenschaften bzw. der Eigenschaftsänderung aufgrund der ausgeführten Unterhaltsmaßnahmen. Mit diesem Vergleich sollten allfällige Unterschiede im Schichtenverbund, in der Wasserresistenz oder in den mechanischen Eigenschaften bei der Prüfung im koaxialen Schub Test KAST vor und nach Durchführung einer Unterhaltsmaßnahme festgestellt werden.

5. Entwicklung von Prüfkriterien zur Beurteilung der Auswirkung von verschiedenen Unterhaltsmaßnahmen. Hierzu gehört die Erarbeitung von Prüfkriterien zur performanceorientierten Beurteilung von Dünnschichtbelägen für die Normung.
6. Ausarbeitung von Vorschlägen und Empfehlungen für Praxis und Normung.

2.2 Vorgehen

Den im Forschungsantrag formulierten Zielsetzungen folgend, wurde nach dem in *Abbildung 2.2.1* dargestellten Versuchsplan vorgegangen. Wie ersichtlich erfolgte das Vorgehen in folgenden Teilschritten:

- Auswahl von geeigneten Objekten:
6 für die Schweiz repräsentative Strecken, bei denen Unterhaltsmaßnahmen geplant waren, wobei darauf geachtet werden sollte, daß die Unterhaltsmaßnahmen aufgrund unterschiedlicher Schwachstellen des alten Belags erfolgten (namentlich Risse, Materialverluste, Deformationen) und daß je drei Strecken im Heiß- und im Kalteinbau ausgeführt werden sollten.
- Erfassen des Zustands und Bestimmen der mechanischen Belagskennwerte inklusive der Entnahme von Belagsausschnitten für den Vergleich bestimmter Eigenschaften, betreffend
 - allgemeinem Zustand
 - Schichtenverbund (Schub-, Abreißversuche)
 - mechanischer Kennwerte (KAST zur Modulbestimmung) der einzelnen Schichten und im Verbund
 - Wasserempfindlichkeit (Spaltzug)

Wobei diese Zustandsbestimmungen und Entnahmen sowohl vor als auch nach Ausführung der Unterhaltsmaßnahme erfolgen sollten.

Während der Ausführung der Unterhaltsmaßnahme war zusätzlich die Protokollierung der Arbeitsweise, Temperaturmessung, Schichtdickenmessung sowie eine Mischgutentnahme vorgesehen.

- Entwicklung von Prüfmethode und Kriterien für die Bewertung (Beurteilung) von durchgeführten Unterhaltsmaßnahmen. Empfehlungen für Eignungstests im Labor und Erarbeitung von Grundlagen für Konzipierung und Optimierung von entsprechenden Mischungen.
- Ausarbeitung von Vorschlägen und Empfehlungen für Normung sowie für allfällige weitere Arbeiten.

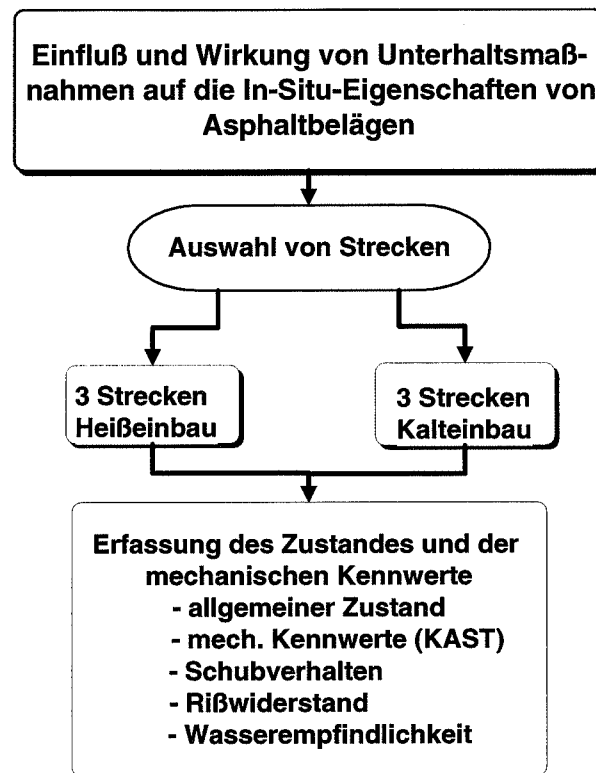


Abbildung 2.2.1: Ursprünglicher Versuchsplan für das Forschungsprojekt

2.3 Problematik, Abgrenzung und Änderung der Aufgabenstellung

Wie auch in Kapitel 3 dargelegt handelt es sich bei im Kalteinbau eingebauten Dünnschichtbelägen um sehr dünne Beläge mit einer Dicke kleiner 20 mm und bei im Heißeinbau erstellten Dünnschichtbeläge um dünne Beläge mit einer Dicke von 20 bis 40 mm. Ein direkter Vergleich beider Dünnschichtbelagsarten hinsichtlich Wirkungsweise und mechanischer Eigenschaften ist somit nicht möglich. Kann man beim Aufbringen eines ca. 30 mm dicken heißen Dünnschichtbelags tatsächlich von einer grundlegenden Erneuerung sprechen, stellt die Sanierung mit einem Kaltmikrobelag in der Regel eine vorläufige Sanierung zur Rißüberbrückung oder zum Ausgleich von leichten Spurrinnen dar, auch wenn mit dieser Sanierungsart nach bisherigen Erfahrungen Lebensdauererlängerungen des Belagsaufbaus zwischen 3 und 8 Jahren erzielt werden können.

Schon während der Evaluation von Versuchsstrecken zeigte sich, daß die Sanierung mit heißen Dünnschichtbelägen in der Schweiz eher eine Ausnahme ist, da anstelle eines Dünnschichtbelags dann meist gleich der Einbau eines neuen Deckbelages mit regulärer Schichtdicke bevorzugt wird.

Ein weiteres Problem für den Vergleich der Eigenschaften vor und nach der Sanierung stellte die Tatsache dar, daß die heißen Dünnschichten nicht direkt auf den alten Deckbelag aufgebracht wurden, sondern, daß im Rahmen der zum Zeitpunkt des Projekts durchgeführten Sanierung auch eine neue Tragschicht eingebracht wurde. Eine Tatsache, die den Vergleich der mechanischen

Eigenschaften durch die Bestimmung des Moduls (KAST) im Fall der heißen Dünn-
schichtbeläge als wenig sinnvoll erscheinen läßt, da hier nicht die mechanischen Eigenschaften vor und nach der
Sanierung sondern diejenigen einer neuen Heißmischtragschicht HMT mit denjenigen einer
Kombination aus neuer HMT und neuem Deckbelag verglichen werden. Dies bedingte, daß das
Projekt entsprechend der tatsächlichen in der Praxis relevanten Fragestellungen abgeändert und
angepaßt wurde (vgl. auch *Abbildung 2.3.1*).

Insbesondere machten die während der Durchführung des Forschungsprojektes zu Tage getretenen
Probleme die Überlegung notwendig, welche anderen Untersuchungen und Prüfungen im Rahmen
des Projektes für die Praxis von großem Nutzen wären. Hier bot sich zum einen, insbesondere im
Hinblick auf die heißen Dünn-
schichtbeläge, die Bestimmung des Widerstands gegen Spurrinnen-
bildung an. Zum anderen werden kalte Dünn-
schichtbeläge oft auch zur Verbesserung der Ober-
flächenstruktur und der Griffigkeit eingesetzt, so daß eine Griffigkeitsprognose nach dem in
Deutschland entwickelten Wehner-Schulze Verfahren und die Bestimmung der Anfangsgriffigkeit mit
Hilfe des SRT Pendeltests eine sinnvolle Ergänzung des ursprünglichen Prüfprogramms darstellten.

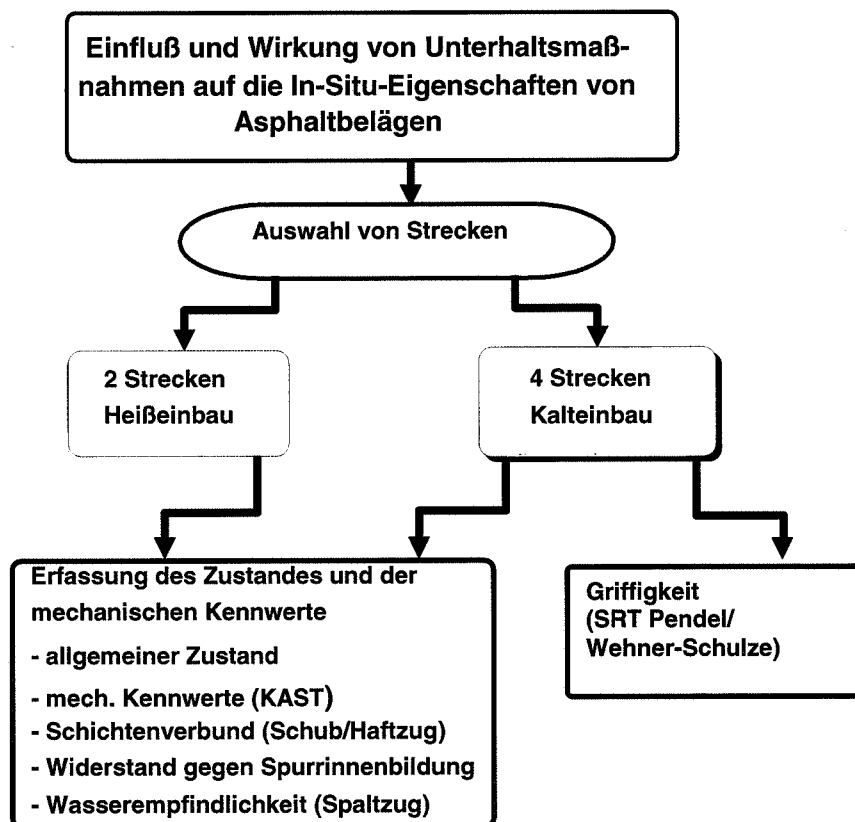


Abbildung 2.3.1: Geänderter Versuchsplan

3 STAND DER FORSCHUNG

3.1 Allgemeines

Spricht man von „Dünnschichtbelägen“ werden in der Regel zwei grundsätzliche Anwendungen, nämlich dünne Schichten im Heißeinbau DSH und dünne Schichten im Kalteinbau DSK unterschieden [4], [5], [6]. Nach [4] und [5] wird auch eine Unterteilung in: Dünne Schichten mit einer Dicke von 20 bis 40 mm und sehr dünne Schichten mit einer Dicke unter 20 mm vorgenommen. In Frankreich wird gar zwischen dünnen (30...40 mm), sehr dünnen (20...30 mm) und ultra dünnen (15...25 mm) Schichten unterschieden [8], wobei insgesamt der Grundsatz gilt, daß mit dünner werdenden Schichten, der Anteil an polymermodifiziertem Bindemittel höher sein sollte.

Der Einbau von Dünnschichtbelägen hat in den letzten Jahren auch aufgrund folgender Faktoren und Randbedingungen zugenommen:

- Wirtschaftlichkeit der Bauweise (geringe Kosten)
- Geringer Mineralstoffverbrauch (Bewahrung natürlicher Ressourcen)
- Schneller Einbau (geringe Sperr- und Staukosten)

3.2 Dünnschichtbeläge im Kalteinbau DSK

Die Anfänge der Dünnschichtbeläge im Kalteinbau gehen auf ein in Deutschland bereits in den dreißiger Jahren entwickeltes Schlammverfahren nach Oberbach zurück [4], [6], [7]. Bei dieser Schlämme handelte es sich um ein Mischgut bestehend aus abgestuften Sanden (ca. 60 Masse-%), Filler (ca. 20 Masse-%) und Bitumen bzw. Teer (ca. 20 Masse-%), das in einem speziellen Herstellungsverfahren durch die Zugabe von Wasser kalt verarbeitet werden konnte. Die Schlämme erhärtete dabei allein aufgrund der Verdunstung von Wasser, d.h. es wurden weder Stabilisatoren noch Emulgatoren verwendet [7].

Nachdem in den 50er Jahren die kationischen Bitumemulsionen entwickelt worden waren, folgten in Deutschland verschiedene Experimente zur Herstellung und Erprobung von Schlämmen mit kationischen Emulsionen.

In Deutschland begann erst Mitte der 70er-Jahre nach dem Verbot von Spikesreifen eine neue Entwicklung dieser Bauweise für die Straßenerhaltung. Die Forschung erfolgte dabei sowohl im Labor als auch direkt auf der Straße. Während bis anhin bei kationischen Schlämmen der Mineralanteil vorwiegend aus Sanden bestand, wurden nun Mineralzusammensetzungen der Körnung 0/3, 0/5 und sogar 0/8 verlegt. Heute hat die Bauweise nach weiteren Erprobungsphasen als Microsurfacing Eingang in europäische und internationale Normen- und Regelwerke gefunden.

Asphalt für DSK besteht aus einem Gemisch aus Gesteinskörnungen, polymermodifizierter, kationischer Bitumenemulsion, Zusätzen und Wasser (siehe auch *Abbildung 3.2.1*). Das Mischgut wird

auf der Baustelle in selbst fahrenden Misch- und Verlegemaschinen kontinuierlich hergestellt und zweischichtig eingebracht.

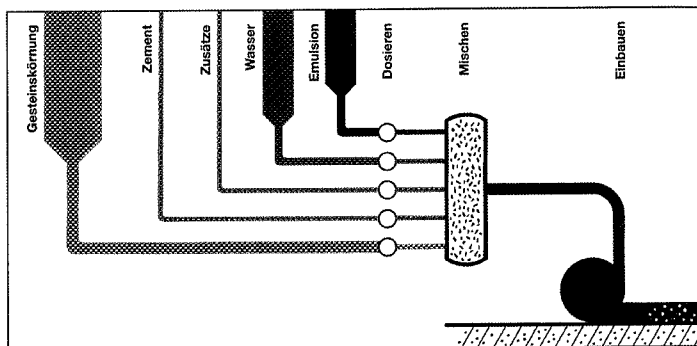


Abbildung 3.2.1: Herstellung von DSK-Mischgut [7]

Bei dünnen Schichten im Kalteinbau handelt es sich in der Regel um sehr dünne Schichten mit einer Dicke zwischen 10 und 15 mm. Dünne Schichten im Kalteinbau werden in der Regel für die Sanierung und zur Lebensdauererlängerung bestehender Straßenaufbauten eingesetzt, wobei sie u.a. in folgenden Fällen eingesetzt werden:

- Verminderte Griffigkeit
- Spurrinnen (ohne Ausfräsen)
- Kornausbrüche
- Oberflächenrisse
- Abdichtung

Aufgrund des oben genannten Vorteils der Wirtschaftlichkeit und der ungünstiger werdenden Altersstruktur bestehender Verkehrsflächen gewinnen dünne Schichten im Kalteinbau weltweit von Jahr zu Jahr an Bedeutung. Wie anlässlich des letzten ISSA Weltkongresses 2002 in Berlin [11] deutlich wurde, waren in den letzten Jahren, auch dank der Entwicklung leistungsfähiger Produkte, Verlegetechniken und Einbaumaschinen, gute Erfolge zu verzeichnen. Für die Zukunft wurde eine noch bessere Abstimmung der Verlegetechnik auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des DSK-Mischgutes sowie die Festlegung von Basisanforderungen für die Verlegetechnik zur Schaffung einheitlicher Qualitätsstandards gefordert. Ebenfalls soll weltweit die Standardisierung von Prüfmethode vorangetrieben werden.

3.3 Dünnschichtbeläge im Heißeinbau DSH

Dünne Schichten im Heißeinbau sind Schichten in einer Dicke zwischen 20 und 40 mm, die in der Regel aus folgenden Sanierungsgründen eingesetzt werden:

- Verminderte Griffigkeit
- Spurrinnen (mit Ausfräsen)
- Kornausbrüche
- Oberflächenrisse
- Abdichtung

Während Dünnschichtbeläge im Heißeinbau im Ausland zur Sanierung bestehender Straßen an Bedeutung gewinnen, stellte sich schon während der Evaluation von Versuchsstrecken für die vorliegende Forschungsarbeit heraus, daß die Sanierung mit heißen Dünnschichtbelägen in der Schweiz von geringer Bedeutung ist, da anstelle eines heißen Dünnschichtbelags hier meist gleich der Einbau eines neuen Deckbelages mit regulärer Schichtdicke bevorzugt wird.

Dünne Schichten im Heißeinbau entsprechen prinzipiell heiß eingebauten bitumenhaltigen Belägen mit regulärer Schichtdicke, wobei aufgrund der stärkeren Beanspruchung der Baustoffe höhere Anforderung an Mineralstoffe und Bindemittel sowie an die Einbaubedingungen (Beschränkung des Einbauzeitraums wegen des schnellen Auskühlens der dünneren Schicht, Ebenheit der Unterlage) gestellt werden sollten bzw. in bereits vorhandenen Regelwerken [9], [10] festgeschrieben werden.

In der deutschen Richtlinie [13] werden DSH definiert als Asphaltbeton, Splittmastix oder Gußasphaltbeläge mit einem Einbaugewicht zwischen 30 und 50 kg/m², was etwa einer Schichtdicke bis zu 25 mm entspricht. Außerdem werden in Frankreich und Deutschland sogenannte DSH-V, dünne Schichten im Heißeinbau auf Versiegelungen angewendet [14]. Bei dieser Bauweise wird mit einem Sprühfertiger eine die Oberfläche versiegelnde polymermodifizierte Bitumenemulsion gesprüht und direkt anschließend die DSH aufgebracht. In der Schweiz werden heiß eingebaute Dünnschichtbeläge, wie das im Forschungsbericht untersuchte Beispiel zeigt, auch als Rauhbelag MR ausgeführt.

Neben den bereits oben erwähnten Anforderungen an DSH kommt dem Verbund zwischen der Unterlage und der Dünnschicht besondere Bedeutung für die Dauerhaftigkeit des Systems zu [14], [15].

4 UNTERSUCHUNG AN BELÄGEN

4.1 Auswahl der Strecken

Die für die Untersuchungen ausgewählten Beläge stammen aus Bauprojekten, bei denen in den Jahren 1999 bis 2002 in verschiedenen Schweizer Kantonen Dünnschichtbeläge auf bestehende Belagsaufbauten aufgebracht worden waren. Die Beläge wurden von den Kantonen Aargau, Basel Land, St. Gallen und Zürich zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden 4 im Kalteinbau und 2 im Heißeinbau durchgeführte Sanierungen ausgewählt (vgl. *Abbildung 2.3.1*). Bei den im Kalteinbau erstellten Unterhaltsmaßnahmen handelte es sich um das Aufbringen eines 5 bis 15 mm dicken Kaltmikrobelages "Microsil" 0/6. Bei der Sanierung im Heißeinbau wurden ca. 25 mm dicke Belagsschichten aus Splittmastixasphalt SMA 8 oder MR 6 eingebaut. Im Gegensatz zu den im Kalteinbau ausgeführten Maßnahmen, bei denen der Dünnschichtbelag direkt auf den alten Belag aufgetragen wurde, mußte bei den Sanierungen im Heißeinbau neben der Deckschicht auch die oberste Tragschicht teilweise abgefräst und durch eine neue Heißmischtragschicht ersetzt werden.

Tabelle 4.1 zeigt eine Übersicht über die Entnahmestellen. Neben der Bezeichnung der Entnahmestelle, dem Sanierungsgrund und dem Belagsaufbau (soweit bekannt) ist jeweils der Zeitpunkt der Entnahme mit und ohne Dünnschicht angegeben.

Tabelle 4.1: Entnahmestellen mit zugehörigem Belagsaufbau

Entnahmestelle Nr.	Entnahme	Sanierungsgrund	Belagsaufbau
Kalteinbau			
	ohne/mit		
K1	28.05.99/ 16.06.99	Risse, Spurrinnen	Kaltmikro mit Bindemittel Raschig (D), Mineralstoffe Kupfer (F) AB 16*, AB 40*
K2	13.08.99/ 21.09.99	Spurrinnen, Risse	Kaltmikro mit Bindemittel Raschig (D), Mineralstoffe Rotzloch (CH) Betaguß 8, weiterer Aufbau nicht bekannt
K3	13.06.99/ 27.08.99	Spurrinnen	Kaltmikro mit Bindemittel Raschig (D), Mineralstoffe Rotzloch (CH) AB 10*, AB 16u*, HMT 22*
K4	27.08.99/ 08.09.99	Spurrinnen, Risse	Kaltmikro mit Bindemittel Raschig (D), Mineralstoffe Rotzloch (CH) AB 10*, AB 16u*, HMT 22*
Heißeinbau			
	ohne/mit		
H1	12.07.01/ 27.07.01		SMA 8, HMT 22N, HMT 16N
H2	09.05.01/ 30.05.01		MR 6, HMT 32N

*Belagskonzeption nach alter Norm SN 640431 "Asphaltbetonbeläge", Ausgabe 1976 (ersetzt 1989)

4.2 Beschreibung des Zustands vor der Sanierung

4.2.1 Entnahmestelle K1

Wie *Abbildung 4.2.1* zeigt, war die Straße vor der Sanierung in relativ schlechtem Zustand. Es gab auf der gesamten Fahrbahn vergossene und offene, teilweise klaffende Risse. Außerdem wies die Fahrbahn leichte Spurrinnen auf.

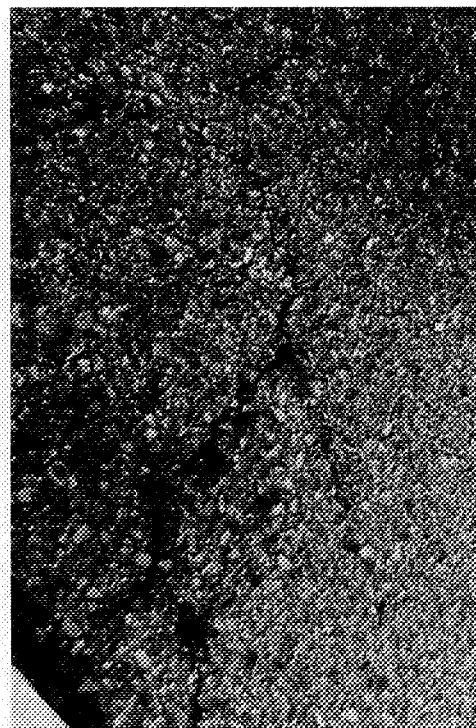
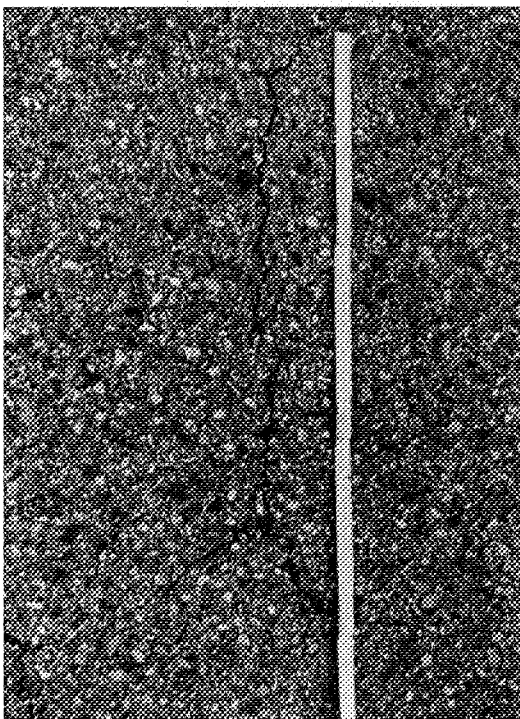


Abbildung 4.2.1: Zustand vor der Sanierung, Entnahmestelle K1

4.2.2 Entnahmestelle K2

Abbildung 4.2.2 zeigt die Straße K2 vor der Sanierung. Das obere Foto zeigt Spurrinnen und vergossene Risse. In den beiden unteren Fotos sind Detailaufnahmen von offenen und vergossenen Rissen dargestellt.

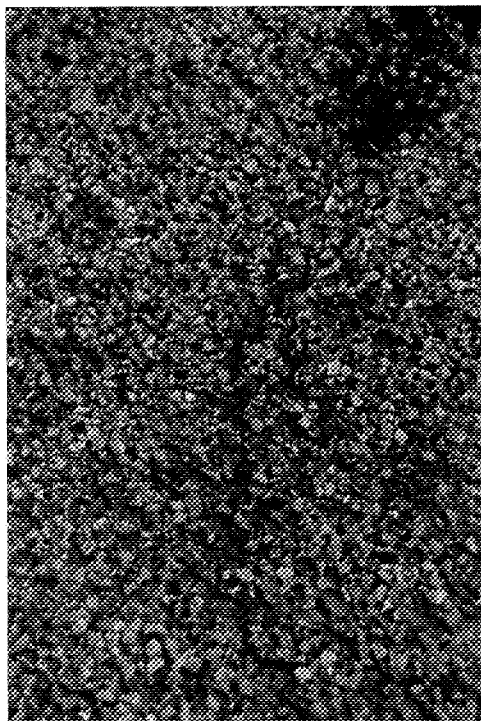
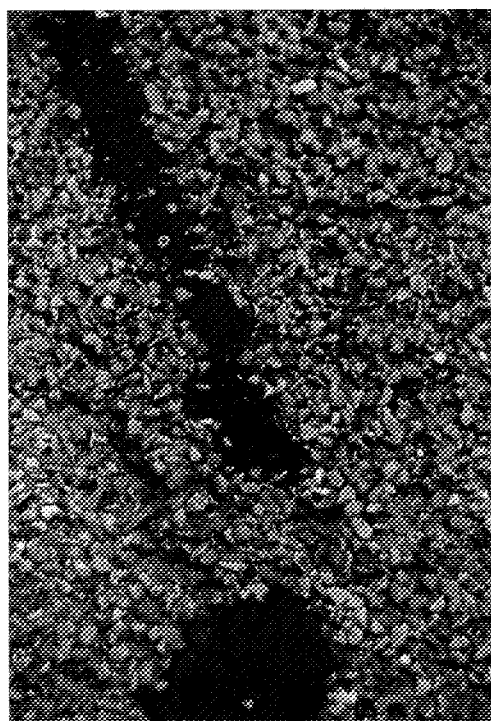


Abbildung 4.2.2: Zustand vor der Sanierung, Entnahmestelle K2

4.2.3 Entnahmestelle K3

Abbildung 4.2.3 zeigt die Straße K3 vor der Sanierung. Das wesentliche Problem stellen in diesem Fall die Spurrinnen dar. Daneben finden sich, wie im Vordergrund des Fotos sichtbar, auch einige Risse.

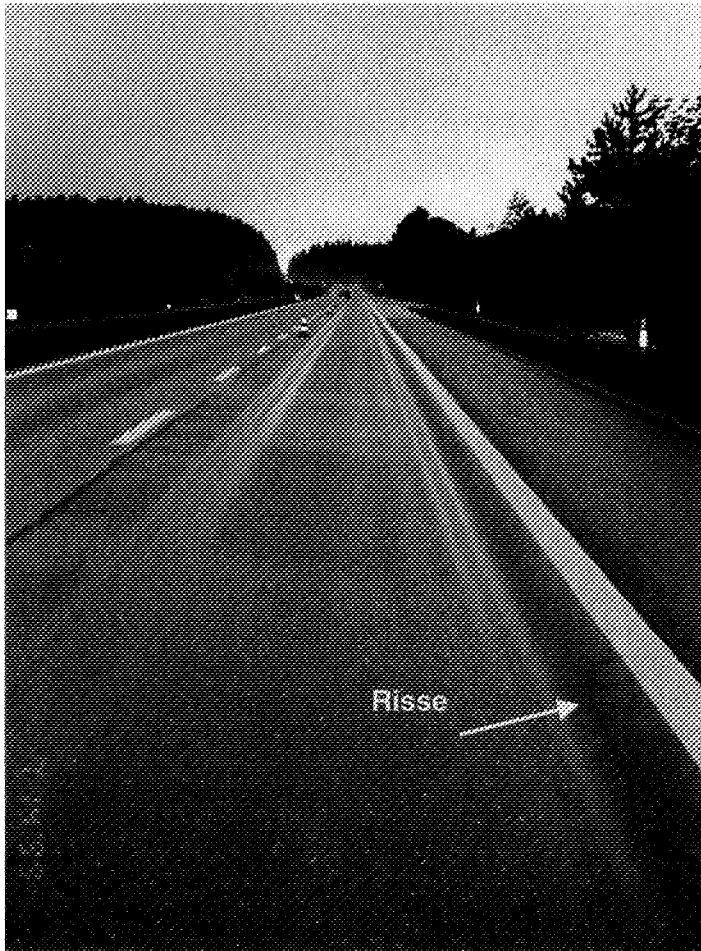


Abbildung 4.2.3: Zustand vor der Sanierung, Entnahmestelle K3

4.2.4 Entnahmestelle K4

Auch bei der Straße K4 erfolgte die Sanierung aufgrund von Spurrinnen und Rissen, wie sie in *Abbildung 4.2.4* dargestellt sind.



Abbildung 4.2.4: Zustand vor der Sanierung, K4

4.2.5 Entnahmestellen H1 und H2

Im Gegensatz zu den im Kalteinbau ausgeführten Maßnahmen, bei denen der Dünnschichtbelag direkt auf den alten Belag aufgetragen wurde, wurde bei den Sanierungen im Heißeinbau auch die oberste Tragschicht durch eine neue Heißmischtragschicht ersetzt. Der Dünnschichtbelag wurde daher immer auf einen neuen Belag eingebaut, weshalb eine Zustandsbeschreibung „vor Einbau“ hier keinen Sinn macht.

4.3 Einbau des Dünnschichtbelags und Situation nach Einbau

4.3.1 Kaltmikrobelag

Wie *Abbildung 4.3.1* zeigt, erfolgte der Einbau der Kaltmikrobeläge mit Hilfe eines speziellen Fertigers. Die aufgebrauchte Belagsemulsion ist vor dem Brechen bräunlich. Nach dem Brechen wird sie schwarz, was in der an der Grenzfläche aufgenommenen *Abbildung 4.3.2* sichtbar wird. Die Geschwindigkeit des Brechens und Aushärtens der Emulsion hängt dabei auch von der Außentemperatur ab. Auch wenn der Belag nach dem Brechen der Emulsion schon nach kurzer Zeit befahrbar ist, wird die totale Festigkeit erst nach mehreren Wochen durch die einwalzende Wirkung des Verkehrs erzielt.

Abbildung 4.3.3 zeigt die Oberfläche des Kaltmikrobelages einige Wochen nach dem Einbau.

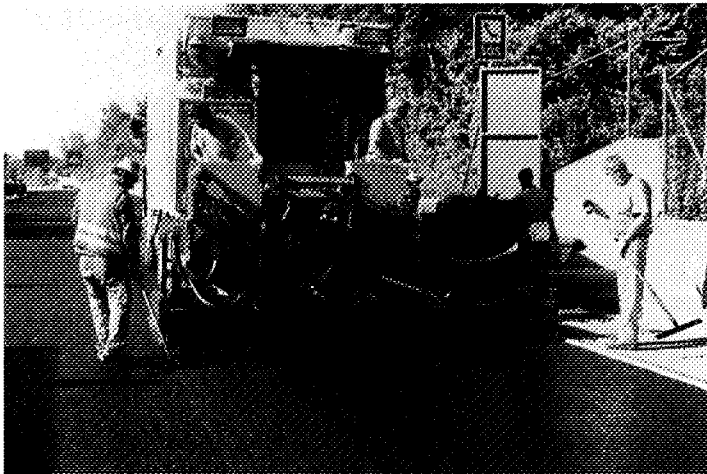


Abbildung 4.3.1: Einbau des Kaltmikrobelages



Abbildung 4.3.2: Grenzfläche zwischen gebrochener und ungebrochener Emulsion des Kaltmikrobelags

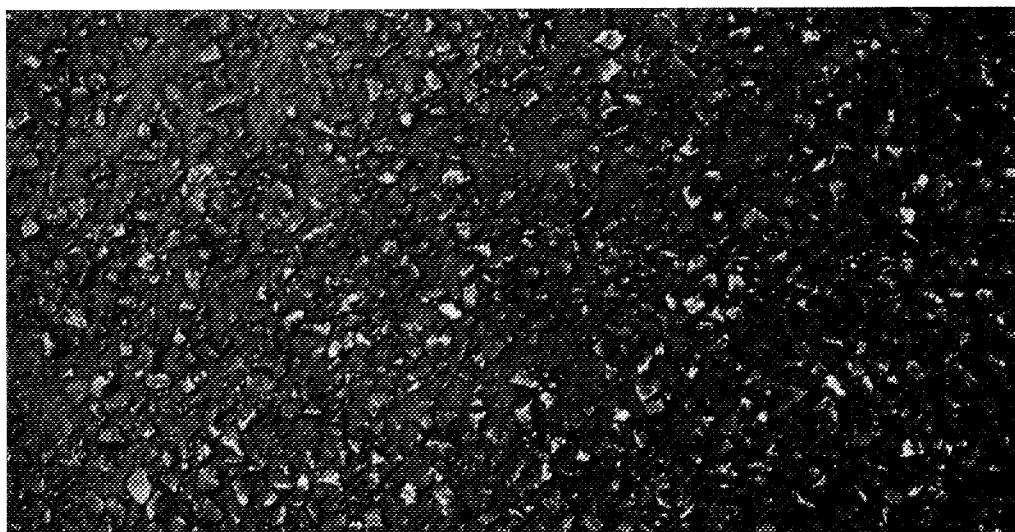


Abbildung 4.3.3: Eingebauter Kaltmikrobelag, einige Wochen nach Einbau und Verkehrsbeanspruchung des Belags

4.3.2 *Heiß eingebaute Beläge*

Der Einbau der heißen Dünnschichtbeläge erfolgte nach konventioneller Methode. *Abbildung 4.3.4* zeigt beispielhaft den im Rahmen der Unterhaltsmaßnahme H1 eingebauten Dünnschichtbelag (SMA 8).

Beim Einbau des Rauhbelags an der Entnahmestelle H2 gab es aufgrund des zu harten Bindemittels Probleme mit der Mischgutverdichtung, was einen zu hohen Hohlraumgehalt von 13 bis 14 Vol-% zur Folge hatte.



Abbildung 4.3.4 Eingebauter Dünnschichtbelag, H1

4.4 Entnahme der Belagsausschnitte

An jeder Entnahmestelle wurden vor und nach dem Einbau des Dünnschichtbelages jeweils 4 Belagsriegel der Größe 0.70 m x 1.10 m entnommen. Bei den Entnahmestellen mit heiß eingebauter Dünnschicht wurde der Zustand nach dem Einbau der neuen Heißmischtragschichten, aber vor dem Einbau der Dünnschicht, als Zustand "vor" dem Einbau bezeichnet.

Die Belagsausschnitte wurden von einer Spezialfirma geschnitten; von der EMPA wurden Montagedübel gesetzt, mit deren Hilfe die Ausschnitte mit einem Kranwagen herausgehoben und transportiert werden konnten (vgl. *Abbildung 4.4.1*).



Abbildung 4.4.1: Entnahme der Belagsausschnitte

Aus den Belagsriegeln wurden dann an der EMPA Bohrkerne und Prüfkörper für die weiteren Prüfungen entnommen. Teilweise wurden Prüfung (z.B. Haftzug) auch an den Belagsausschnitten selbst durchgeführt.

4.5 Mischgut- und Belagsuntersuchungen

In der Mischgut- und Belagsuntersuchung wurden dabei die Kennwerte gemäß *Tabelle 4.5.1* ermittelt. Die Resultate für die einzelnen Entnahmestellen sind in den *Tabellen 5.1.1* und *5.1.2* wiedergegeben.

Tabelle 4.5.1: Kennwerte der Mischgut- und Belagsuntersuchung

Prüfung	Kaltmischgut	Heißmischgut
Korngrößenverteilung, nach Schweizer Norm SN 670810	X	X
Anteil an löslichem Bindemittel, nach Schweizer Norm SN 671955	X	X
Rohdichte, nach Schweizer Norm SN 671967		X
Dichte, nach Schweizer Norm SN 671965		X
Hohlraumgehalt Bohrkern, nach Schweizer Norm SN 671967		X
Marshallkennwerte (Stabilität, Fließen) nach Schweizer Norm SN 671969		X

4.6 Schichtenverbund

An den Prüfkörpern aller Entnahmestellen mit Dünnschicht wurde die Haftung zwischen Dünnschicht und der darunter liegenden Schicht geprüft. Diese Prüfung erfolgte zum einen mit der Haftzugprüfung und zum anderen mit der direkten Abscherprüfung nach Schweizer Norm SN 671961 [18].

4.6.1 Haftzugprüfungen

Da es für die Haftzugprüfung bisher in der Schweiz noch keine Norm oder Vorschrift gibt, wurde die Prüfung in Anlehnung an die deutsche technische Prüfvorschrift ZTV-SIB 90 [17] auf zwei unterschiedliche Arten durchgeführt:

- a) Prüfung direkt an den Belagsausschnitten
- b) Prüfung an Bohrkernen

Die Belastungsgeschwindigkeit betrug 300 N/s; es wurde eine Vorlast von 100 N aufgebracht.

- a) Für die Prüfung wurden Bohrungen mit einem Durchmesser von 50 mm, bzw. abweichend von der ZTV-SIB 90 von 100 mm, und einer Tiefe entsprechend der Dicke der Dünnschicht plus 10 mm durchgeführt. Nach Säubern und Trocknen der Bohrstellen wurde ein Prüfstempel aus Stahl mit einem Durchmesser von 50 mm bzw. 100 mm und einer Dicke von 30 mm bzw. 60 mm mit Hilfe eines Zweikomponentenklebers aufgeklebt. Die Prüfung des Haftzugs erfolgte nach Aushärten des Klebstoffs in einem temperierten Raum bei einer Lufttemperatur von 20°C (siehe *Abbildung 4.6.1*). Die Resultate sind in *Tabelle 5.2.1* wiedergegeben.

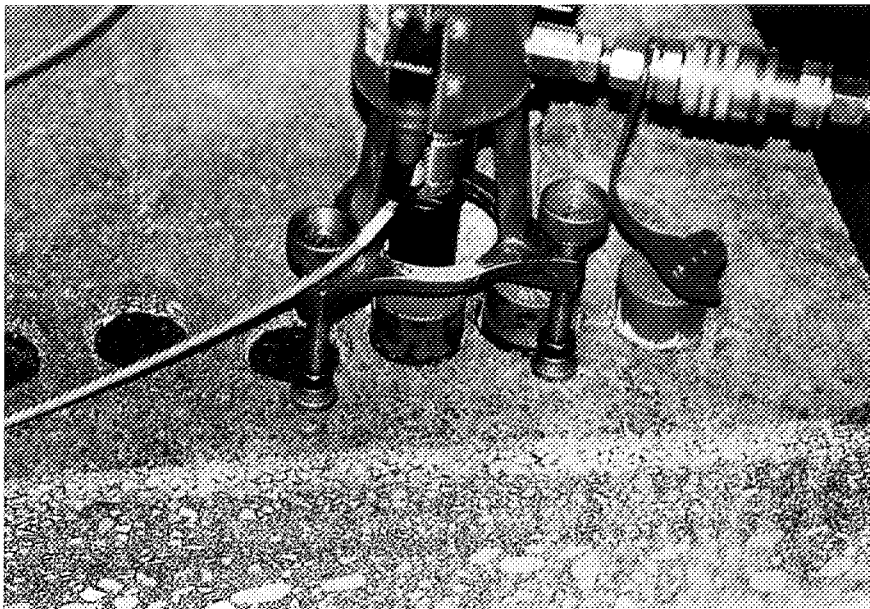


Abbildung 4.6.1: Haftzugprüfung am Belagsausschnitt

- b) Für diese Prüfung wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm entnommen und auf eine Dicke von 25 mm zugeschnitten. Mit Hilfe eines Zweikomponentenklebers wurden diese auf eine Betonplatte aufgeklebt. Anschließend wurde der Prüfstempel aus Stahl mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 60 mm auf die Oberseite des Bohrkerns geklebt. Die Prüfung des Haftzugs erfolgte nach Aushärten des Klebstoffs in einem temperierten Raum bei einer Lufttemperatur von 20°C (siehe *Abbildung 4.6.2*). Die Resultate finden sich in *Tabelle 5.2.1*.

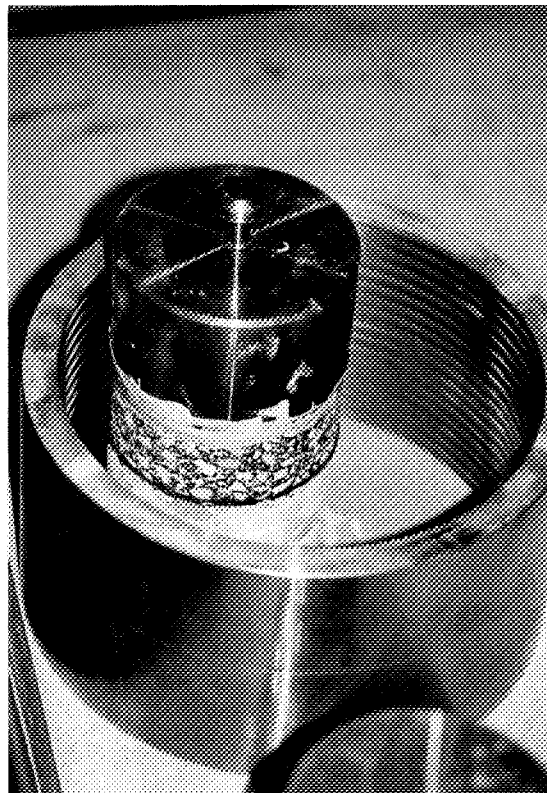
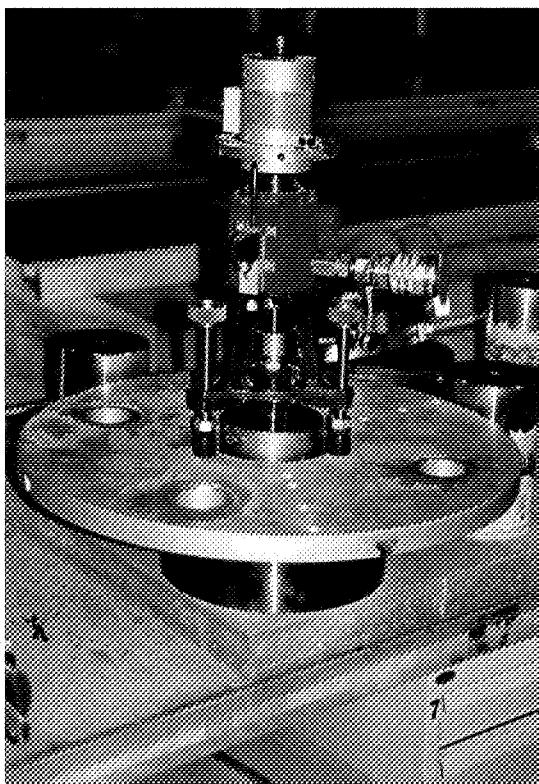


Abbildung 4.6.2: Haftzugprüfung am Bohrkern

4.6.2 Abscherprüfung

Die Abscherprüfung erfolgte in Anlehnung an die Schweizer Norm SN 671961 [18] und nach [19] an Bohrkernen mit einem Durchmesser von 150 mm. Damit eine Prüfung an den extrem dünnen kalt eingebauten Dünnschichtbelägen durchgeführt werden konnte (Mindestdicke laut Norm: 25 mm), wurde vor der Prüfung eine Stahlplatte mit gleichem Durchmesser und einer Dicke von 25 mm aufgeklebt (vgl. *Abbildung 4.6.3*).

Die heiß eingebauten Dünnschichtbeläge wiesen dagegen eine Dicke von 25 mm auf und konnten daher ohne Stahlplatte geprüft werden. Die Resultate sind in *Tabelle 5.2.2* wiedergegeben.

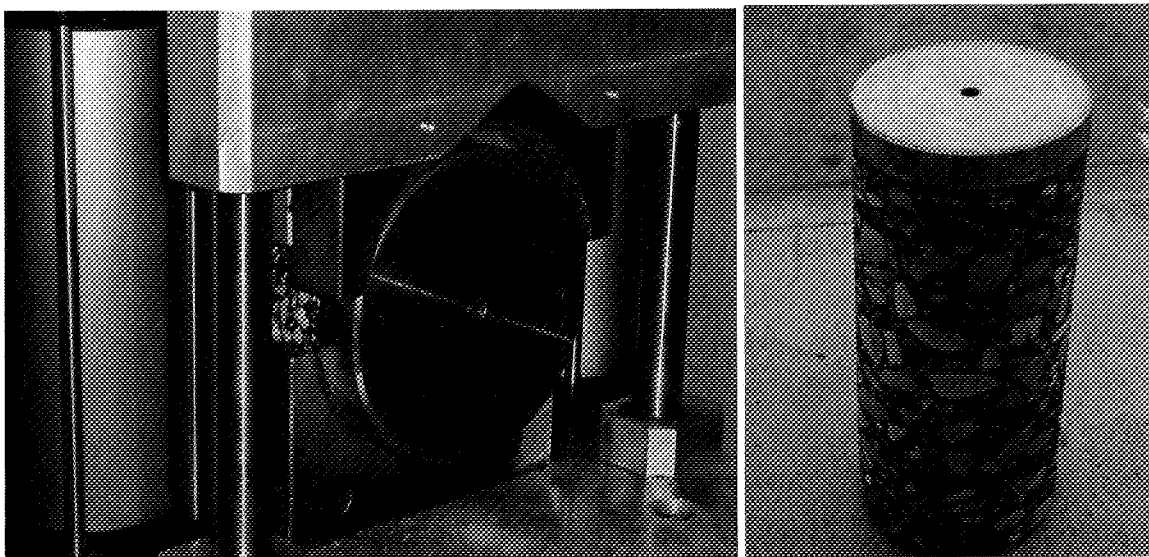


Abbildung 4.6.3: Bohrkerne aus kaltem Dünnschichtbelag mit aufgeklebter Platte für Abscherprüfung

4.7 Mechanische Kennwerte KAST

Abbildung 4.7.1 zeigt den Aufbau der KAST Prüfung, wie er zur Bestimmung der mechanischen Kennwerte verwendet wird. Die Prüfkörper bestehen aus Bohrkernen des Durchmessers 150 mm und einem Innenloch (\varnothing 50 mm) in der Mitte. Die Höhe der Bohrkern liegt zwischen 30 mm und 50 mm, wobei immer Prüfkörper ohne und Prüfkörper mit Dünnschicht verglichen werden. Die Prüfkörper werden in die Prüfform eingeklebt, die aus einem äußeren zylinderförmigen Mantel und einem inneren zylinderförmigen Kern besteht. Während der Prüfung, die bei unterschiedlichen Temperaturen zwischen +15°C und +30°C durchgeführt wird, wird der Prüfkörper durch eine in axialer Richtung wirkende sinusförmige Belastung gebogen und geschert. Die sich dabei ergebende Kraft und Verformung werden gemessen und daraus der komplexe Schubmodul und die Phasenverschiebung berechnet.

Für die Prüfung einer Entnahmestelle wurden jeweils 3 Prüfkörper mit und 3 Prüfkörper ohne Dünnschicht hergestellt (in einigen Fällen konnten allerdings nur 2 Bohrkern ausgewertet werden, da die

Meßresultate einiger Prüfkörper fehlerhaft waren), aus denen dann jeweils der Mittelwert des komplexen Schubmoduls und der Phasenverschiebung bestimmt werden konnte.

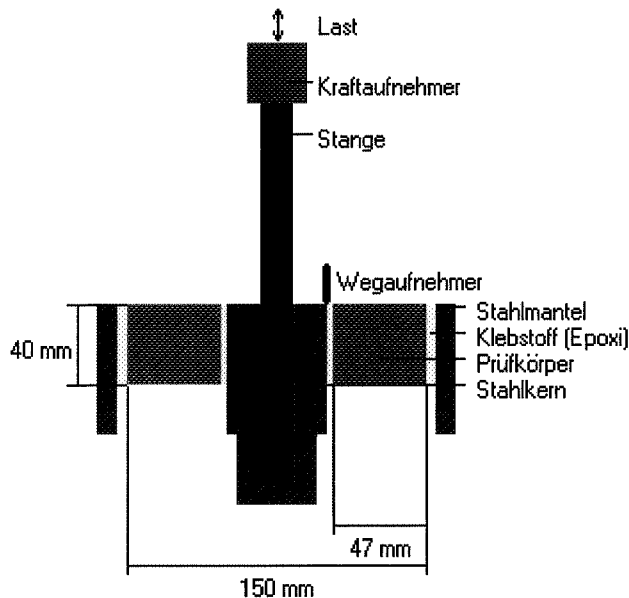


Abbildung 4.7.1: Prüfkörper in KAST Prüfform (schematischer Schnitt)

4.8 Wasserempfindlichkeit

Die Bestimmung der Wasserempfindlichkeit ist in der Schweizer Norm bisher nur für Heißmischfundationsschichten normiert [20]. Um die Wasserempfindlichkeit der Prüfkörper vor bzw. nach dem Aufbringen der Dünnschichtbeläge zu untersuchen, wurden aus den Belagsausschnitten „mit“ und „ohne“ Dünnschichtbelag jeweils 12 Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Höhe von 50 mm entnommen und anstelle von Marshallprüfkörpern nach der an der EMPA erarbeiteten Prüfvorschrift [21] geprüft.

Die 12 Bohrkern wurden so in zwei Serien à 6 Prüfkörper (Serien "trocken" und "naß") verteilt, daß die mittlere geometrisch im Ausmeßverfahren bestimmte Rohdichte nach SN 671967 (neu Raumdichte nach SN 670404) der Serien ähnlich war. Die Prüfkörper der Serie "naß" wurden mit einem absoluten Druck von 300 mbar (Vakuum von ca. 700 mbar) bei Raumtemperatur partiell gesättigt. Dazu wurden sie in einen mit destilliertem Wasser (Raumtemperatur) gefüllten, luftdichten Behälter gelegt und 5 Minuten an eine Unterdruckapparatur angeschlossen. Die Prüfkörper wurden 24h bei 60°C in Wasser gelagert und anschließend ca. 4h bei 25°C in destilliertem Wasser konditioniert. Die Prüfkörper der Serie "trocken" wurden wasserdicht verpackt und ebenfalls 4h in einem Wasserbad mit destilliertem Wasser von 25°C konditioniert.

Nach der Temperierung wurde die Bruchkraft (bzw. maximale Zugfestigkeit) aller Prüfkörper im Spaltzugversuch bei Raumtemperatur bestimmt (Vorschubgeschwindigkeit 50.8 mm/min). Nach der Prüfung wurden die Bruchflächen visuell beurteilt und der TSR (Tensile Strength Ratio) aus dem

Verhältnis der mittleren Zugfestigkeiten der Serien "trocken" und "naß" berechnet, wobei das Verhältnis der mittleren Zugfestigkeiten mindestens 80% betragen sollte.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit interessierte neben dem TSR-Verhältnis trocken/naß vor allem auch die Änderung der Wasserempfindlichkeit durch das Aufbringen des Dünn-
schichtbelages. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in *Tabelle 5.3.1* aufgeführt.

4.9 Griffigkeitsbestimmung

4.9.1 Anfangsgriffigkeit mit dem SRT (Skid Resistance Tester) Pendel

Wie in *Abbildung 4.9.1* dargestellt, wurde das SRT Pendel direkt auf die Belagsausschnitte aufgesetzt. Die Prüfung erfolgte nach der britischen Norm BS 812 und der Schweizer Norm SN 640510 [22], [23]. Wie in der Prüfvorschrift beschrieben, wurde die Prüfung je drei mal mit der einen und je drei mal mit der anderen Kante des Prüfgummigleiters durchgeführt. Um eine größere Anzahl Daten zu erhalten, wurde ein zweites Mal an einer anderen Position des Belagsausschnitts gependelt.

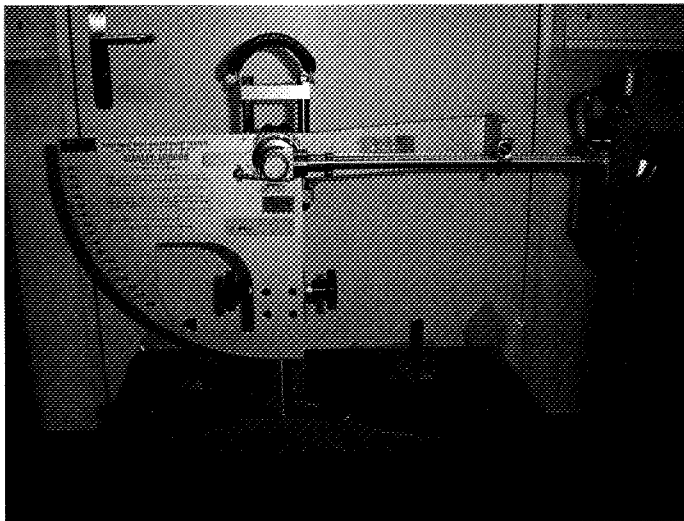


Abbildung 4.9.1: Prüfung mit SRT Pendel auf Belagsriegel

4.9.2 Griffigkeit nach Wehner-Schulze

Das in Deutschland entwickelte Prüfgerät nach Wehner-Schulze, wie es in *Abbildung 4.9.2* zu sehen ist, dient der Verkehrssimulation und der Messung des Griffigkeitswertes PWS auf unterschiedlichen Beanspruchungsstufen. Der PWS-Wert (Polierwert Wehner-Schulze) gibt dabei Auskunft über den Widerstand einer Belagsoberfläche gegen die polierende Wirkung von Fahrzeugreifen [24], [25].

Die Prüfvorrichtung besteht aus einer Poliermaschine, bei der die Verkehrsbeanspruchung durch drei konische Gummigleiter simuliert wird und einem Laborgriffigkeitsmessgerät, mit dem der Griffigkeitswert einer nassen Belagsoberfläche bei 60 km/h bestimmt wird (vgl. *Abbildung 4.9.3*).

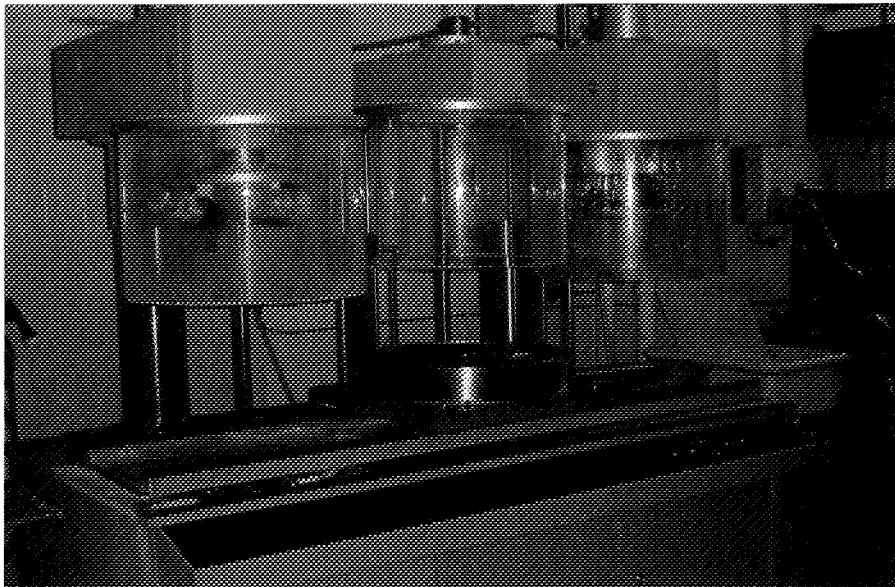


Abbildung 4.9.2: Wehner-Schulze Testgerät der TU Berlin

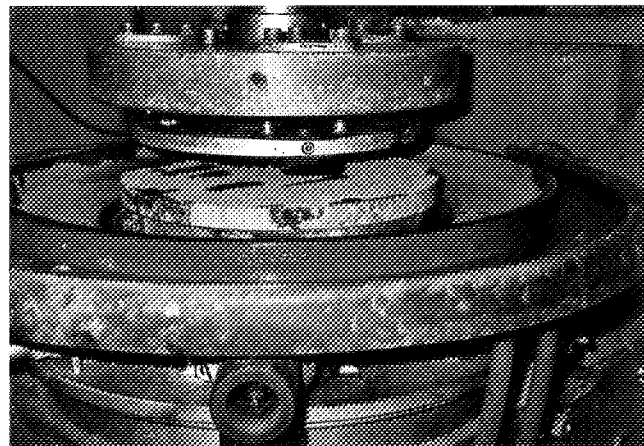
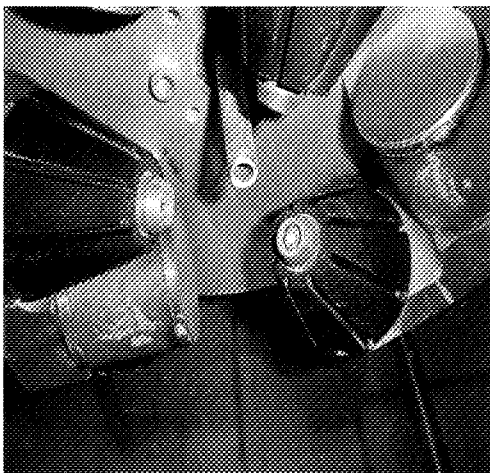


Abbildung 4.9.3: Konische Gummigleiter für die Verkehrslastsimulation (links) und Griffigkeitsmeßgerät mit Gummigleitern zur Bestimmung des Gleitbeiwerts (rechts)

Die Prüfung erfolgte an der TU Berlin auf 4 verschiedenen Beanspruchungsstufen (dargestellt in *Abbildung 4.9.4* und *Tabelle 4.9.1*), wobei pro Entnahmestelle je 3 Bohrkerne (mit und ohne Dünnschicht) mit einem Durchmesser von 225 mm geprüft und gemittelt wurden.

Tabelle 4.9.1. Beanspruchungsstufen der Wehner-Schulze Prüfung

Beanspruchungsstufen 0 bis 4	
Anfangswert, unbeanspruchter Ausgangszustand	0
Wert nach 90'000 Überrollungen in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	1
Wert nach Aufrauen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen	2
Wert nach erneuten 90'000 Überrollungen in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	3
Weitere Griffigkeitsmessungen mit dem Laborgriffigkeitsmeßgerät bis zum Erreichen des Grenzwertes	4

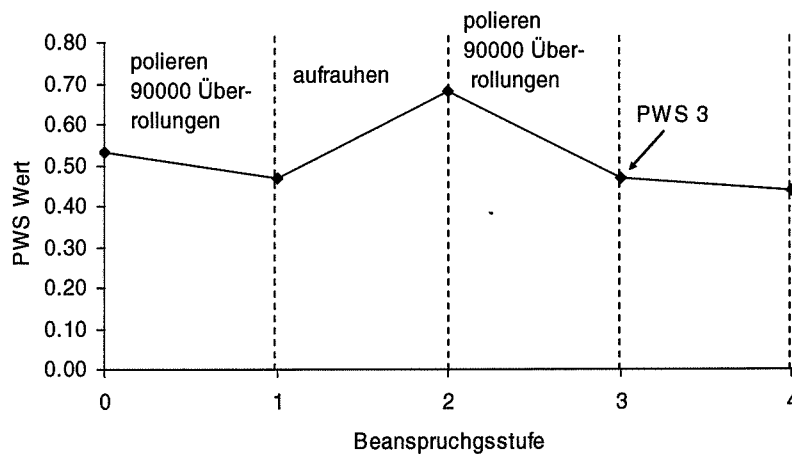


Abbildung 4.9.4: Schematische Darstellung der Beanspruchungsstufen nach Wehner-Schulze am Beispiel K1

4.10 Widerstand gegen Spurrinnenbildung

Mit dem LCPC-Spurrinentest kann neben dem Verformungsverhalten von Mischgut auch das Verformungsverhalten von direkt aus der Straße entnommenen Belagsausschnitten bestimmt werden [27].

Für die Prüfung wurden aus den Belagsausschnitten Prüfkörper mit den Abmessungen 500 mm×180 mm×100 mm zugeschnitten. Diese Prüfkörper wurden mit Hilfe eines Zementmörtels in die Prüfform des Spurrinentesters eingegossen (vgl. auch *Abbildung 4.10.1*). Anschließend wurden alle Prüfkörper mit dem Spurrinentester entsprechend der französischen Norm [26] geprüft.

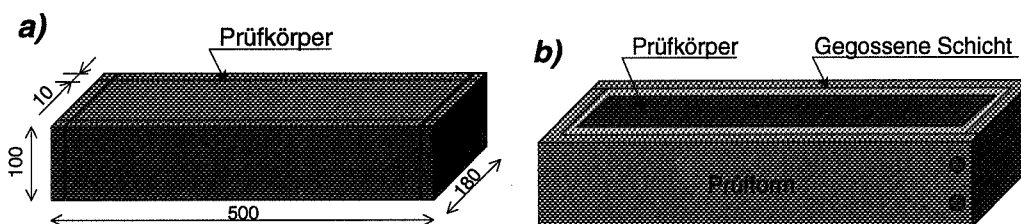


Abbildung 4.10.1: Schnitt-Schema des Prüfkörpers (a); in Prüfform eingegossener Prüfkörper (b)

Der Spurrinentest wurde mit dem LCPC-Spurrinentester durchgeführt. Dieser (vgl. *Abbildung 4.10.2*) besteht aus zwei Bodenplatten und zwei pneumatischen, profillosen Prüfrädern mit 400 mm Durchmesser und einem Reifendruck von 6 bar. Die Prüfkörper werden auf den Bodenplatten montiert und bei Raumtemperatur mit 1000 Zyklen überrollt. Jeder Zyklus umfaßt dabei zwei Überrollungen innerhalb 1 s. Anschließend werden die Prüfkörper während mindestens 12 Stunden bei 60°C temperiert. Die Prüfkörper werden ausgemessen. Die Ausgangsdicke dient als Bezugsgröße für das Bestimmen der relativen Spurrinentiefe. Dann wird die Prüfung bei 60°C mit einem Anpreßdruck von 5.05 bar, einem Reifendruck von 0.63 ± 0.03 MPa, und einer Achslast von 5 kN durchgeführt. Die

Prüfung wird jeweils nach 0, 30, 100, 300, 1000, 3000, 10'000, und 30'000 Zyklen unterbrochen, und je Prüfkörper werden 3 Meßwerte in 5 Querprofilen bestimmt. Die relative Spurrinnentiefe nach erfolgter Zyklenzahl wird von jedem Prüfkörper jeweils durch Mittelwert der 15 Meßwerte in Prozent der Bezugsdicke berechnet. Die maßgebenden Werte der relativen Spurrinnentiefe werden jeweils durch Mittelwert der Meßwerte der beiden parallel geprüften Prüfkörper berechnet.

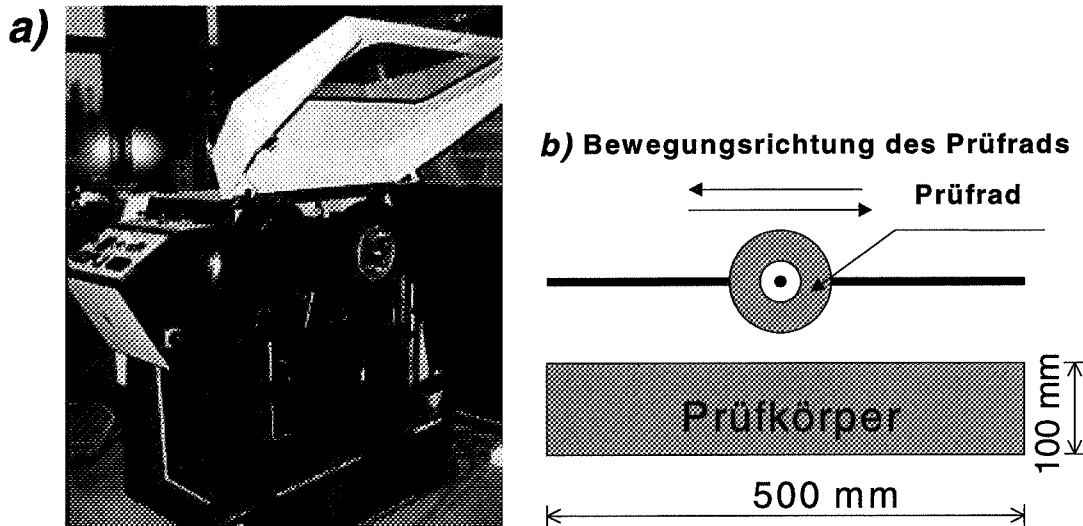


Abbildung 4.10.2: Spurrinntester (a); schematische Darstellung des Spurrinntesters (b).

5 RESULTATE UND AUSWERTUNG

5.1 Mischgut- und Belagsuntersuchungen

Table 5.1.1 zeigt die Korngrößenverteilung und den Bindemittelgehalt für die Entnahmestellen K1 bis K3. An der Entnahmestelle K4 wurde der EMPA kein Mischgut zur Verfügung gestellt. Aufgrund der gleichen Rezeptur wie bei Entnahmestelle K3 kann aber von ähnlichen Ergebnissen ausgegangen werden. Da alle Kaltmikrobeläge prinzipiell gleiche Materialienzusammensetzung (Bindemittel: Raschig AG, Ludwigshafen, und Mineralstoffe: Rotzloch – mit Ausnahme der Entnahmestelle K1 mit französischen Mineralstoffen) und Rezeptur aufwiesen (vgl. Tabelle 4.1), ergeben sich erwartungsgemäß weitgehend übereinstimmende Untersuchungsergebnisse.

Tabelle 5.1.1: Mischgut- und Belagskennwerte der Entnahmestellen K1 bis K4

Entnahmestelle Nr.		K1	K2	K3	K4
Mischgutsorte	Kalte Dünnschicht	Kaltmikro	Kaltmikro	Kaltmikro	Kaltmikro
Bindemittel	Bindemittelsorte	Bitumenemulsion	Bitumenemulsion	Bitumenemulsion	Bitumenemulsion
	Zusätze Bindemittelgehalt [Masse-%]	Polymer 6.0	Polymer 6.5	Polymer 5.6	Polymer nicht bestimmt
Mineralstoffe	Siebdurchgang [Masse-%] für Sieb				Keine Belagsunter- suchung möglich (vgl. Text)
	8.0 mm	100.0	100.0	100.0	
	5.6 mm	92.8	93.9	97.3	
	4.0 mm	70.2	66.0	78.8	
	2.8 mm	52.8	47.4	61.7	
	2.0 mm	44.0	37.6	49.9	
	1.0 mm	30.8	24.8	30.8	
	0.5 mm	22.6	17.4	20.4	
	0.25 mm	16.1	12.4	14.2	
	0.125 mm	11.4	8.9	10.4	
	0.009 mm	9.5	7.4	8.8	

In *Tabelle 5.1.2* sind die Ergebnisse der Mischgutuntersuchung für die beiden Entnahmestellen mit heiß eingebauten Dünnschichtbelägen H1 und H2 dargestellt. Im Fall der Entnahmestelle H2 wurde der Belag nicht entsprechend der Ausschreibung eingebaut, d.h. er weist einen deutlich zu hohen Hohlraumgehalt von 11.2 Vol-% auf.

Tabelle 5.1.2: Mischgut- und Belagskennwerte der Entnahmestellen H1 bis H4

Entnahmestelle Nr.		H1	H2
Mischgutsorte	Heiße Dünnschicht	SMA 8	MR 6
Bindemittel	Bindemittelsorte	70/100	
	Zusätze Bindemittelgehalt [Masse-%]	keine 6.9	NAF 501 6.53
Mineralstoffe	Siebdurchgang [Masse-%] für Sieb		
	11.2 mm	100	100
	8.0 mm	94.4	100
	5.6 mm	56.7	98.9
	4.0 mm	36.9	68.9
	2.8 mm	29.0	33.3
	2.0 mm	25.4	24.2
	1.0 mm	20.4	19.9
	0.5 mm	17.3	17.3
	0.25 mm	15.1	14.8
	0.125 mm	12.9	11.1
	0.009 mm	11.8	9.4
Marshall-Prüfung	Stabilität [kN]*	7.9	13.0
	Fließen [mm]*	2.3	2.7
	Hohlraumgehalt [Vol-%]	3.4	11.2

* für SMA und MR gibt es keine Anforderung nach Schweizer Norm [16]

5.2 Schichtenverbund

5.2.1 Haftzugprüfungen

Tabelle 5.2.1 und Abbildung 5.2.1 enthalten die Resultate der Haftzugprüfung für alle Entnahmestellen, wobei Abbildung 5.2.1 die Ergebnisse der Haftzugprüfung (Bruchspannung) grafisch zeigt.

Wie in dieser Abbildung gut zu erkennen, gibt es klare Unterschiede zwischen der Größenordnung der Resultate für die mit Durchmesser 50 mm am Riegel bzw. die mit Durchmesser 100 mm am Riegel und am Bohrkern ermittelten Werte. Auffällig sind auch die extrem großen Standardabweichungen bei der Haftzugprüfung mit einem Durchmesser von 50 mm. Dagegen sind die mit Durchmesser 100 mm am Riegel bzw. Bohrkern bestimmten Werte gut vergleichbar, wobei auch die Rangordnung der am Riegel und am Bohrkern ermittelten Ergebnisse bis auf Entnahmestelle K3 gut übereinstimmen.

Tabelle 5.2.1: Resultate der Haftzugprüfung für alle Entnahmestellen

Entnahme- stelle Nr.	Material		Haftzug am Riegel 50 mm		Haftzug am Riegel 100 mm		Haftzug am Bohrkern 100 mm	
	Deck- schicht (DS)	1.Trag- schicht (HMT)	Kraft [kN] Mittelwert (N=7) ± Stabw.	Spannung [N/mm ²] Mittelwert (N=7) ± Stabw.	Kraft [kN] Mittelwert (N=7) ± Stabw.	Spannung [N/mm ²] Mittelwert (N=7) ± Stabw.	Kraft [kN] Mittelwert (N=7) ± Stabw.	Spannung [N/mm ²] Mittelwert (N=7) ± Stabw.
K1	Kaltnikro	AB 16*	1.57 ± 0.36	0.80 ± 0.18	5.00 ± 0.17	0.64 ± 0.02	5.00 ± 0.18	0.64 ± 0.02
K2	Kaltnikro	Betaguß 8	1.46 ± 0.49	0.74 ± 0.25	4.10 ± 0.38	0.52 ± 0.05	4.00 ± 0.12	0.51 ± 0.02
K3	Kaltnikro	AB 10*	1.56 ± 0.28	0.80 ± 0.14	4.00 ± 0.18	0.58 ± 0.03	4.53 ± 0.22	0.51 ± 0.02
K4	Kaltnikro	AB 10°	1.22 ± 0.30	0.62 ± 0.15	3.56 ± 0.12	0.45 ± 0.02	3.74 ± 0.36	0.47 ± 0.05
H1	SMA 8	HMT 16	2.60 ± 0.39	1.32 ± 0.20	7.52 ± 0.34	0.96 ± 0.04	5.24 ± 0.71	0.67 ± 0.09
H2	MR 6	HMT 32	2.98 ± 0.38	1.51 ± 0.20	6.70 ± 1.80	0.86 ± 0.23	7.25 ± 1.31	0.92 ± 0.17

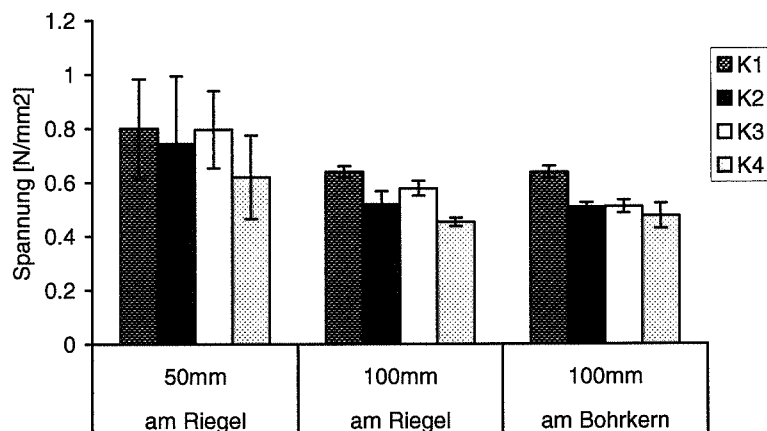


Abbildung 5.2.1: Ergebnisse der Haftzugprüfung (Bruchspannung) bei Kaltmikrobelägen

Die in *Abbildung 5.2.2* dargestellten Ergebnisse der Haftzugprüfung an den beiden heiß eingebauten Dünnschichtbelägen zeigen keine klare Rangfolge zwischen den Belägen. Erhält man für die Entnahmestelle H2 am Bohrkern einen höheren Wert als am Riegel (Durchmesser 100 mm), so liegt das am Bohrkern bestimmte Resultat für H1 niedriger als das am Riegel (100 mm) bestimmte Resultat. Auch besteht keine Übereinstimmung zwischen den mit einem Durchmesser 50 mm bzw. 100 mm am Riegel ermittelten Ergebnissen. Insgesamt liegen aber die Ergebnisse für die heiß eingebauten Dünnschichtbeläge höher als diejenigen der kalt eingebauten Dünnschichtbeläge.

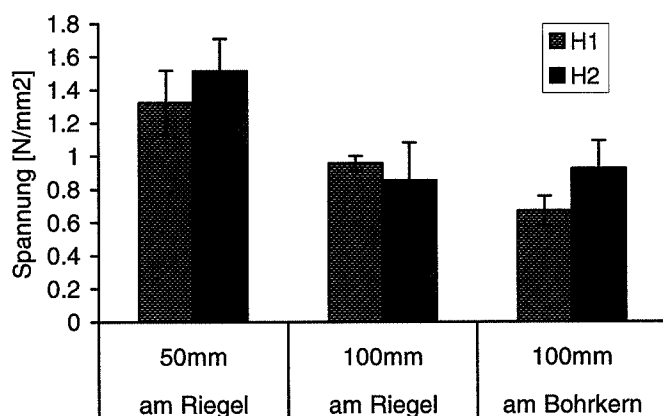


Abbildung 5.2.2: Ergebnisse der Haftzugprüfung (Bruchspannung) bei Heißbelägen

5.2.2 Abscherprüfung

Tabelle 5.2.2 stellt die Ergebnisse der Abscherprüfung für alle Entnahmestellen dar.

Tabelle 5.2.2: Maximale Scherkräfte bei 20°C für alle Entnahmestellen

Entnahme- stelle Nr.	Material		Max. Scherkraft [kN]		Bemerkung
	Deck- schicht (DS)	1.Trag- schicht (HMT)	Mittelwert (N=7)	Standardab- weichung	
K1	Kaltnikro	AB 16*	20.6	1.1	mit aufgeklebter Stahlplatte
K2	Kaltnikro	Betaguß 8	17.2	1.8	mit aufgeklebter Stahlplatte
K3	Kaltnikro	AB 10*	16.2	1.7	mit aufgeklebter Stahlplatte
K4	Kaltnikro	AB 10°	18.5	0.5	mit aufgeklebter Stahlplatte
H1	SMA 8	HMT 16	21.3	4.3	
H2	MR 6	HMT 32	34.1	5.2	

*Belagskonzeption nach alter Norm SN 640431 "Asphaltbetonbeläge", Ausgabe 1976 (ersetzt 1989)

Wie in *Abbildung 5.2.3* deutlich wird, ergeben sich mit Scherkräften zwischen 16 und 20 kN relativ kleine Unterschiede zwischen den Resultaten der Entnahmestellen mit Kaltnikrobelägen K1 bis K4. Auch wenn in der Schweizer Norm bisher keine Vorgaben für kalt eingebaute Dünnschichtbeläge existieren, kann die Haftung als gut bezeichnet werden, erfüllen doch alle Entnahmestellen die Anforderung von 15 kN [28], wie sie in der Schweizer Norm für die Scherkraft zwischen Deck- und Tragschichten vorgeschrieben ist.

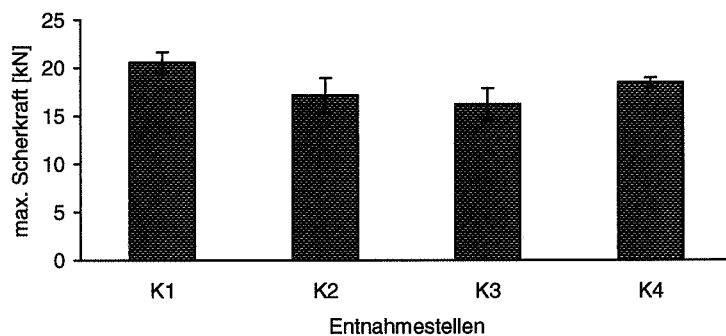


Abbildung 5.2.3: Maximale Scherkräfte bei 20°C für alle Entnahmestellen mit Kaltbelägen

Auch für die beiden Entnahmestellen mit heiß eingebauten Dünnschichtbelägen (vgl. *Abbildung 5.2.4*) ergeben sich im Vergleich mit den Anforderungen der Schweizer Norm von mindestens 15 kN für die Scherkraft zwischen Deck- und Tragschichten mit 21 kN bzw. 34 kN sehr hohe Scherkräfte, und die Haftung kann selbst im Fall des hohlraumreichen Dünnschichtbelags der Entnahmestelle H2 als unproblematisch bezeichnet werden.

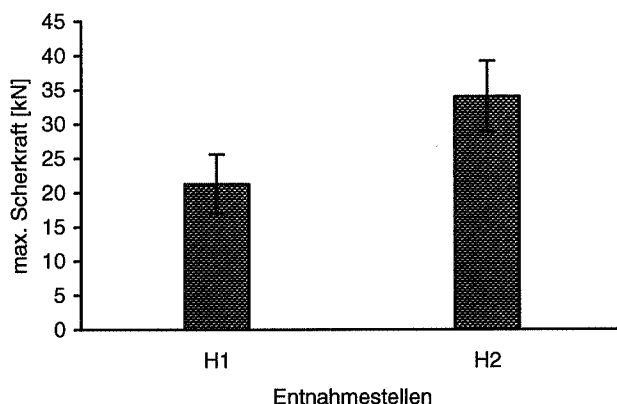


Abbildung 5.2.4: Maximale Scherkräfte bei 20°C für alle Entnahmestellen mit Heißbelägen

5.3 Wasserempfindlichkeit

Tabelle 5.3.1 zeigt die Resultate der Wasserempfindlichkeitsprüfung für alle Entnahmestellen.

Aufgrund dieser Resultate gibt es in Bezug auf die Wasserempfindlichkeit weder bei den „alten Deckschichten“ noch bei den Dünnschichtbelägen Probleme. Bis auf die Entnahmestelle K2, wo der alte Deckbelag mit 76.7% bzw. die Kombination alter Deckbelag/Dünnschicht mit 79.4% die Forderung der Schweizer Norm von mindestens 80% knapp unterschreitet, liegen alle anderen Entnahmestellen deutlich über den geforderten 80%. Interessant ist, daß nicht in jedem Fall (K1, K3 und H1) durch das Aufbringen einer Dünnschicht eine Verbesserung erzielt werden konnte.

Tabelle 5.3.1: Verhältnis TSR naß/trocken für alle Entnahmestellen mit und ohne Dünnschicht

Entnahmestelle Nr.	Spaltzugkraft, trocken [kN]		Spaltzugkraft, naß [kN]		Verhältnis TSR [%] naß/trocken	
	Mittelwert (N=6) ± Standardabw.		Mittelwert (N=6) ± Standardabw.			
	ohne DS	mit DS	ohne DS	mit DS	ohne DS	mit DS
K1	9.43 ± 0.86	8.37 ± 0.31	8.55 ± 0.46	7.43 ± 0.24	90.4	89.3
K2	9.39 ± 0.47	7.06 ± 0.30	7.22 ± 0.66	5.67 ± 0.43	76.7	79.4
K3	7.14 ± 0.44	6.62 0.51	6.70 0.26	5.55 0.15	93.2	84.1
K4	6.46 ± 0.29	5.19 ± 0.53	5.95 ± 0.16	4.80 ± 0.51	91.8	92.3
H1	6.80 ± 0.34	4.81 ± 0.22	6.72 ± 0.31	4.54 ± 0.27	99.7	94.2
H2	7.23 ± 0.63	7.22 ± 0.69	6.55 ± 0.74	7.36 ± 0.49	90.3	100

5.4 Mechanische Kennwerte: KAST

5.4.1 Kalte Dünnschichtbeläge

In den *Abbildungen 5.4.1 bis 5.4.4* und in den *Tabellen 5.4.1 bis 5.4.12* sind die Ergebnisse der KAST Prüfung für die Entnahmestellen K1 bis K4 mit und ohne Dünnschicht dargestellt. In den Black-Diagrammen (vgl. *Abbildungen 5.4.1 bis 5.4.4*) wurde der Komplexe Modul über dem Phasenwinkel aufgetragen, wobei jeweils die Ergebnisse ohne und mit Dünnschicht einander gegenübergestellt wurden.

Bei der Betrachtung der Black-Diagramme zeigt sich, daß die Kurven für die Entnahmestellen der Kaltmikrobeläge mit und ohne Dünnschicht weitgehend aufeinander liegen, was bedeutet, daß die mechanischen Eigenschaften vor und nach dem Aufbringen der Dünnschicht ziemlich gleich bleiben. Die einzige Ausnahme bildet Entnahmestelle K4, wo die Eigenschaften nach dem Dünnschichteinbau etwas schlechter sind (Kurve des Belags mit Dünnschicht liegt tiefer). Dabei muß hier im Auge behalten werden, daß diese Messung nur auf einem Wert und nicht wie sonst üblich auf dem Mittelwert von zwei oder drei Bohrkernen basiert.

Black-Diagramm K1

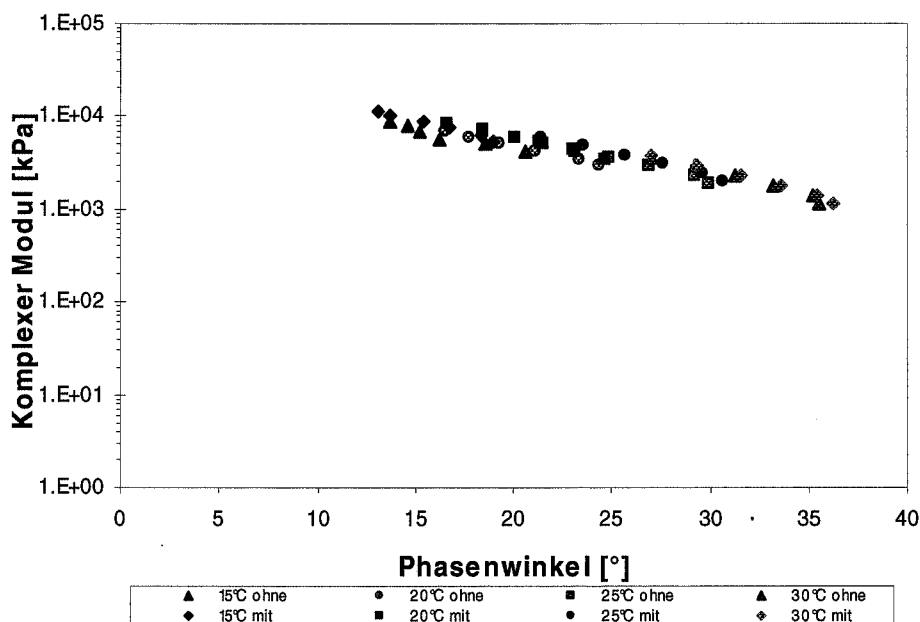


Abbildung 5.4.1: Black-Diagramm der Entnahmestelle K1 ohne und mit Dünnschichtbelag

Tabelle 5.4.1: Komplexe Module [MPa] K1 ohne Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	4277	4972	5742	6915	78100	87600
20°C	2925	3479	4134	4974	5847	6865
25°C	1907	2329	2907	3582	4425	5363
30°C	1127	1386	1786	2294	2909	3680

Tabelle 5.4.2: Komplexe Module [MPa] K1 mit Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	5427	6280	7454	8767	10000	11400
20°C	3440	4119	4975	5973	7065	8322
25°C	1993	2466	3064	3859	4805	5796
30°C	1136	1408	1813	2348	2991	3766

Tabelle 5.4.3: Phasenverschiebung [°] K1 ohne Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	20.6	18.6	16.2	15.2	14.6	13.7
20°C	24.4	23.3	21.1	19.3	17.8	16.5
25°C	29.9	29.2	26.9	24.9	23	21.3
30°C	35.5	35.2	33.2	31.3	29.2	27

Tabelle 5.4.4: Phasenverschiebung [°] K1 mit Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	19	18.4	16.8	15.4	13.7	13.1
20°C	24.7	23.1	21.5	20.1	18.5	16.6
25°C	30.7	29.6	27.6	25.7	23.6	21.4
30°C	36.2	35.4	33.6	31.6	29.3	27

Black-Diagramm K2

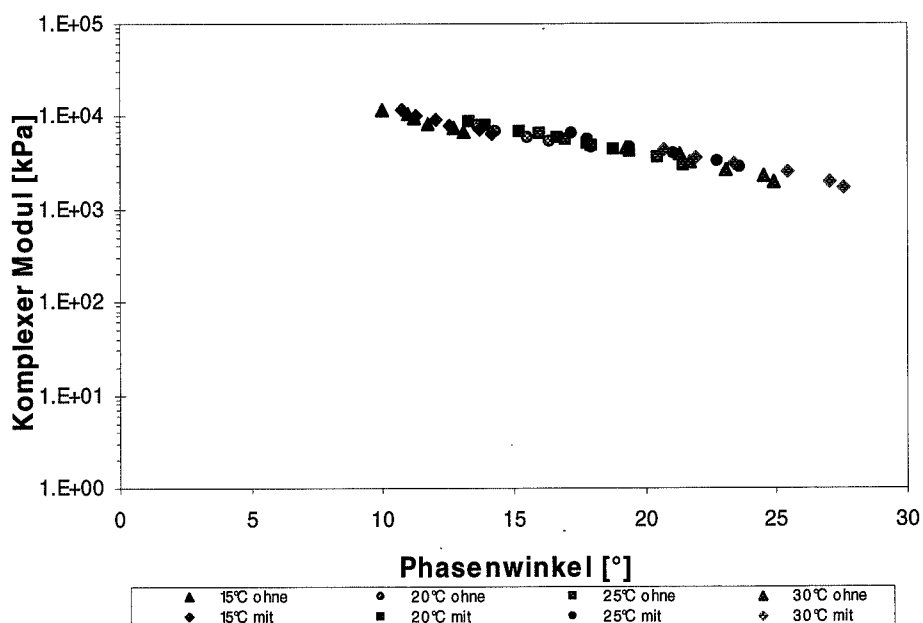


Abbildung 5.4.2: Black-Diagramm der Entnahmestelle K2 ohne und mit Dünnschichtbelag

Tabelle 5.4.5: Komplexe Module [MPa] K2 ohne Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	6692	7530	8527	9603	10600	11800
20°C	4608	5230	6023	6887	7802	8953
25°C	3011	3528	4178	4858	5675	6573
30°C	1940	2257	2724	3274	3878	4660

Tabelle 5.4.6: Komplexe Module [MPa] K2 mit Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	6390	7139	8145	9142	10200	11700
20°C	4301	5039	5854	6798	7778	8951
25°C	2775	3305	3965	4697	5509	6425
30°C	1706	2023	2523	3057	3676	4421

Tabelle 5.4.7: Phasenverschiebung [°] K2 ohne Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	13.1	12.7	11.7	11.2	11	10
20°C	18	16.4	15.5	14.3	13.6	12.7
25°C	21.5	20.5	19.4	18	17	16
30°C	24.9	24.5	23.1	21.7	21.3	19.3

Tabelle 5.4.8: Phasenverschiebung [°] K2 mit Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	14.2	13.7	12.6	12	11.3	10.7
20°C	18.8	17.8	16.7	15.2	13.9	13.3
25°C	23.6	22.8	21.1	19.4	17.8	17.2
30°C	27.6	27	25.4	23.4	21.9	20.7

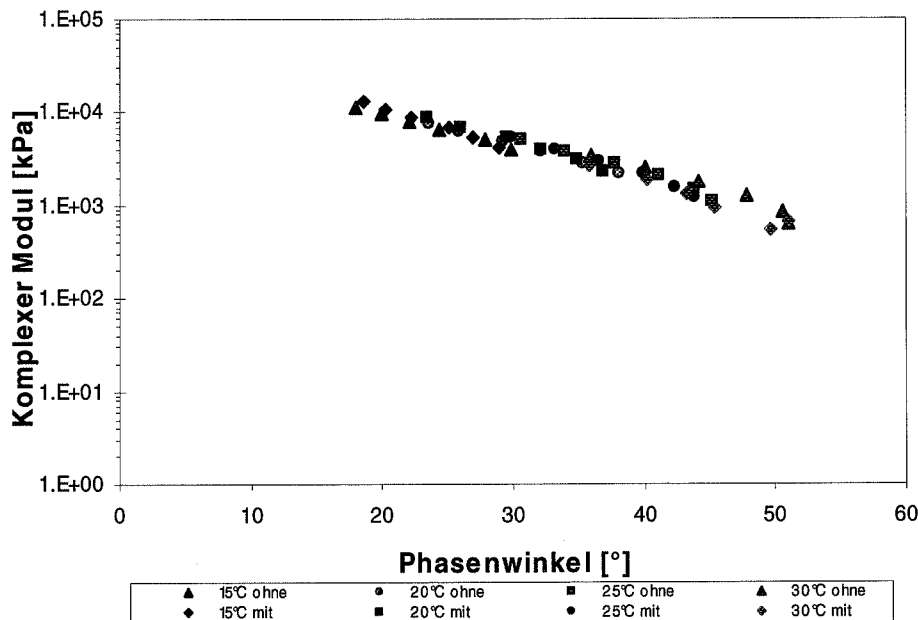
Black-Diagramm K3

Abbildung 5.4.3: Black-Diagramm der Entnahmestelle K3 ohne und mit Dünnschichtbelag

Tabelle 5.4.9: Komplexe Module [MPa] K3 ohne Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	4041	5069	6390	8026	95700	11500
20°C	2153	2868	3701	4839	6138	7621
25°C	1099	1503	2048	2810	3751	4975
30°C	624.9	838.9	1238	1761	2503	3475

Tabelle 5.4.10: Komplexe Module [MPa] K3 mit Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	4173	5400	6836	8613	10700	13100
20°C	2313	3053	4043	5300	6753	8596
25°C	1188	1577	2187	2986	4070	5273
30°C	552	674.8	955.5	1366	1921	2615

Tabelle 5.4.11: Phasenverschiebung [°] K3 ohne Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	29.9	27.8	24.3	22.1	20	17.9
20°C	38	35.3	32.2	29.2	25.9	23.6
25°C	45.3	43.9	41.1	37.7	34	30.6
30°C	51	50.5	47.8	44.1	40	35.9

Tabelle 5.4.12: Phasenverschiebung [°] K2 mit Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	29	27	25.2	22.3	20.3	18.6
20°C	36.8	34.9	32.2	29.6	26	23.4
25°C	43.8	42.3	39.9	36.5	33.2	29.8
30°C	49.6	51	45.4	43.2	40.2	35.8

Black-Diagramm K4

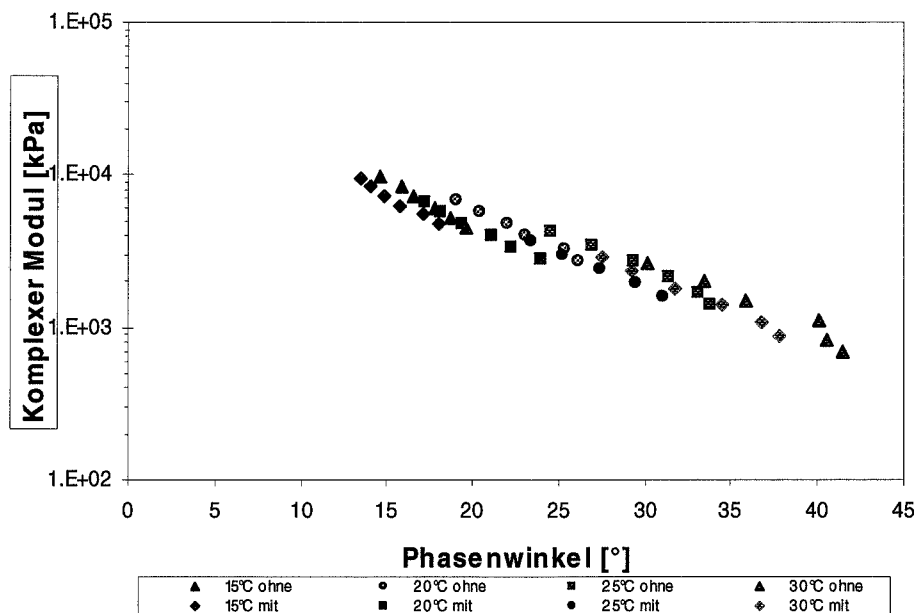


Abbildung 5.4.4: Black-Diagramm der Entnahmestelle K4 ohne und mit Dünnschichtbelag

Tabelle 5.4.13: Komplexe Module [MPa] K4 ohne Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	4470	5240	6139	7235	85000	98100
20°C	2725	3229	3955	4764	5769	6905
25°C	1408	1690	2170	2742	3446	4296
30°C	686.8	831.6	1099	1496	2006	2643

Tabelle 5.4.14: Komplexe Module [MPa] K4 mit Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	4810	5558	6364	7339	83800	95100
20°C	2833	3388	4023	4798	5663	6570
25°C	1604	1965	2438	3012	3681	4448
30°C	881	1087	1415	1819	2319	2908

Tabelle 5.4.15: Phasenverschiebung [°] K4 ohne Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	19.6	18.7	17.8	16.6	15.9	14.6
20°C	26.2	25.3	23.1	22	20.4	19.1
25°C	33.8	33.1	31.4	29.3	26.9	24.5
30°C	41.5	40.5	40.1	35.9	33.5	30.2

Tabelle 5.4.16: Phasenverschiebung [°] K4 mit Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	18	17.1	15.8	14.9	14	13.5
20°C	24	22.3	21.1	19.4	18.2	17.3
25°C	31.1	29.5	27.4	25.2	23.4	21.3
30°C	37.8	36.8	34.5	31.8	29.2	27.5

5.4.2 Heiße Dünnschichtbeläge

In den *Abbildungen 5.4.5* und *5.4.6* sowie in den *Tabellen 5.4.13* bis *5.4.24* sind die Ergebnisse der KAST Prüfung für die beide Entnahmestellen H1 und H2 mit und ohne Dünnschicht dargestellt. In den Black-Diagrammen (vgl. *Abbildungen 5.4.5* und *5.4.6*) wurde der komplexe Modul über dem Phasenwinkel aufgetragen, wobei jeweils die Ergebnisse ohne und mit Dünnschicht einander gegenübergestellt wurden.

Für Entnahmestellen H1 und H2 zeigen sich in den Black-Diagrammen deutliche Unterschiede zwischen den Kurven der Beläge mit ohne und mit Dünnschicht. Eine Tatsache, die wenig erstaunt, da hier nicht die mechanischen Eigenschaften vor und nach der Sanierung, sondern diejenigen einer neuen HMT mit denjenigen einer Kombination aus neuer HMT und neuem Deckbelag verglichen werden.

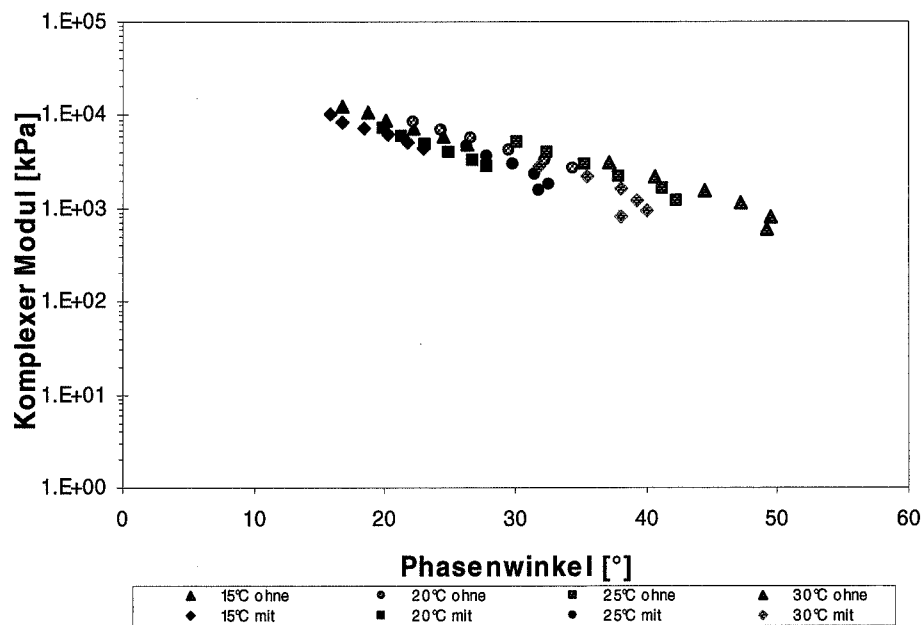
Black-Diagramm H1

Abbildung 5.4.5: Black-Diagramm der Entnahmestelle H1 ohne und mit Dünnschichtbelag

Tabelle 5.4.17: Komplexe Module [MPa] H1 ohne Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	4801	5939	7288	8739	1060	1250
20°C	2613	3311	4212	5516	6722	8266
25°C	1236	1599	2195	2945	3946	5105
30°C	610.3	792.7	1121	1577	2196	3034

Tabelle 5.4.18: Komplexe Module [MPa] H1 mit Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	4298	5156	6139	7309	8518	9989
20°C	2784	3312	4041	4938	5914	7202
25°C	1548	1806	2293	2941	3597	4639
30°C	828.7	926.1	1209	1602	2145	2811

Tabelle 5.4.19: Phasenverschiebung [°] H1 ohne Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	26.4	24.5	22.3	20.1	18.7	16.8
20°C	34.4	32.3	29.6	26.7	24.4	22.2
25°C	42.4	41.2	37.9	35.3	32.4	30.1
30°C	49.2	49.5	47.2	44.4	40.6	37.2

Tabelle 5.4.20: Phasenverschiebung [°] H1 mit Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	23	21.8	20.3	18.5	16.7	15.9
20°C	27.8	26.8	25	23.1	21.3	20
25°C	31.8	32.6	31.5	29.8	27.8	26.4
30°C	38	40.1	39.3	38	35.5	31.8

Black-Diagramm H2

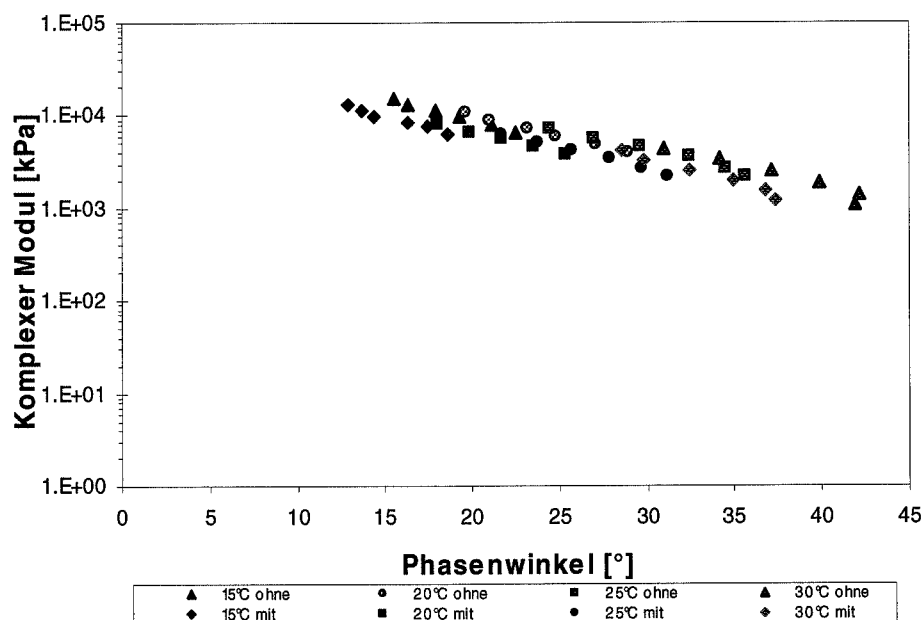


Abbildung 5.4.6: Black-Diagramm der Entnahmestelle H2 ohne und mit Dünnschichtbelag

Tabelle 5.4.21: Komplexe Module [MPa] H2 ohne Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	6644	7961	9585	11400	13300	15500
20°C	3919	4814	6021	7335	8995	10900
25°C	2165	2717	3568	4557	5752	7244
30°C	1109	1387	1886	2555	3401	4496

Tabelle 5.4.22: Komplexe Module [MPa] H2 mit Dünnschicht

Modul [MPa]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	6297	7433	8516	9855	11300	13000
20°C	3803	4600	5567	6627	7862	9189
25°C	2201	2717	3457	4240	5189	6252
30°C	1229	1519	1991	2572	3276	4080

Tabelle 5.4.23: Phasenverschiebung [°] H2 ohne Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	22.5	21.1	19.3	17.9	16.3	15.5
20°C	28.9	27.1	24.8	23.2	21	19.6
25°C	35.6	34.5	32.4	29.6	26.9	24.4
30°C	41.9	42.2	39.9	37.1	34.1	30.9

Tabelle 5.4.24: Phasenverschiebung [°] H2 mit Dünnschicht

Phase [°]	0.5 Hz	1.0 Hz	2.0 Hz	4.0 Hz	8.0 Hz	16.0 Hz
15°C	18.6	17.5	16.3	14.4	13.7	12.9
20°C	25.3	23.5	21.7	19.9	18.1	16.9
25°C	31.2	29.7	27.9	25.7	23.7	21.7
30°C	37.4	36.8	34.9	32.4	29.8	28.6

5.5 Griffigkeit

5.5.1 Anfangsgriffigkeit mit dem SRT Pendel

Wie *Abbildung 5.5.1* verdeutlicht, sind die SRT Werte nach dem Aufbringen eines Kaltmikrobelages nicht notwendigerweise höher als diejenigen des Belags vor der Sanierung. Bis auf Entnahmestelle K3, die einen deutlich höheren Wert aufweist, sind dabei die Ergebnisse der SRT Werte für die einzelnen Dünnschichtbeläge vergleichbar.

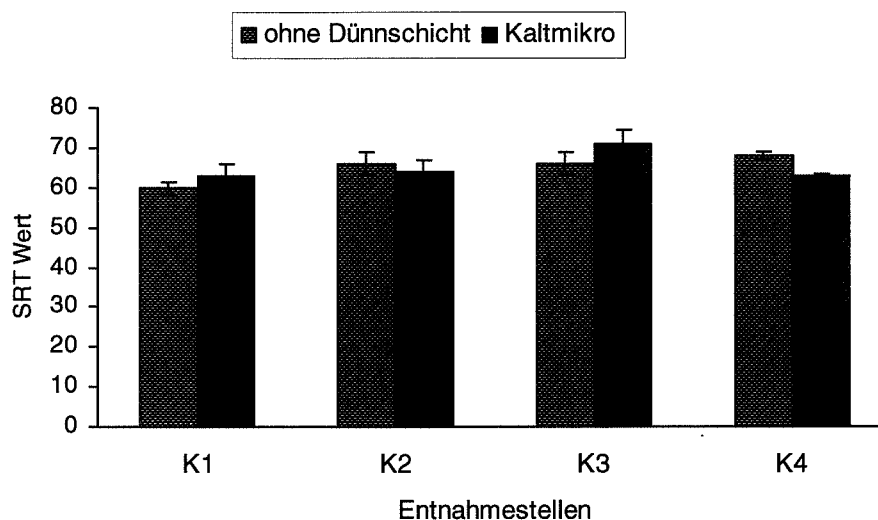


Abbildung 5.5.1: SRT Werte für alle Entnahmestellen mit und ohne Dünnschichtbelag

5.5.2 Griffigkeit nach Wehner-Schulze

Tabelle 5.5.1 und Abbildung 5.5.2 zeigen die Resultate der Prüfung nach Wehner-Schulze für alle Entnahmestellen, wobei die Prüfergebnisse mit und ohne Kaltmikrobelag verglichen werden.

Nach der deutschen Prüfvorschrift wird für die Auswertung des Griffigkeitsverhaltens einer Belagsoberfläche nur der PWS Wert der Beanspruchungsstufe 3 in Betracht gezogen. Alle anderen Werte sind dagegen informativer Natur. Liegt der PWS Wert bei mindestens 0.42, entspricht dies der Anforderung für die deutsche Straßenbauklasse SV und einem täglichen Verkehrsaufkommen von mehr als 20'000 ESALs.

Die Resultate für PWS 3 machen dabei deutlich, daß das Griffigkeitsverhalten der Belagsoberfläche durch das Aufbringen eines Kaltmikrobelags eindeutig verbessert werden kann. Bei 3 von 4 Entnahmestellen weisen die Dünnschichtbeläge deutlich höhere Griffigkeitsbeiwerte PWS 3 auf, an der Entnahmestelle K2 ist der Wert vor und nach der Sanierung identisch.

Tabelle 5.5.1 Testergebnisse der Wehner-Schulze Prüfung (Mittelwert aus jeweils 3 Prüfkörpern)

Entnahmestelle Nr.	Beanspruchungsstufe				
	0	1	2	3	4
K1 ohne Dünnschicht	0.54	0.43	0.63	0.41	0.39
K1 Kaltmikro	0.53	0.47	0.68	0.47	0.44
K2 ohne Dünnschicht	0.55	0.49	0.63	0.45	0.43
K2 Kaltmikro	0.44	0.46	0.58	0.49	0.45
K3 ohne Dünnschicht	0.58	0.46	0.56	0.41	0.38
K3 Kaltmikro	0.50	0.44	0.62	0.45	0.42
K4 ohne Dünnschicht	0.64	0.48	0.54	0.41	0.37
K4 Kaltmikro	0.52	0.48	0.67	0.48	0.44

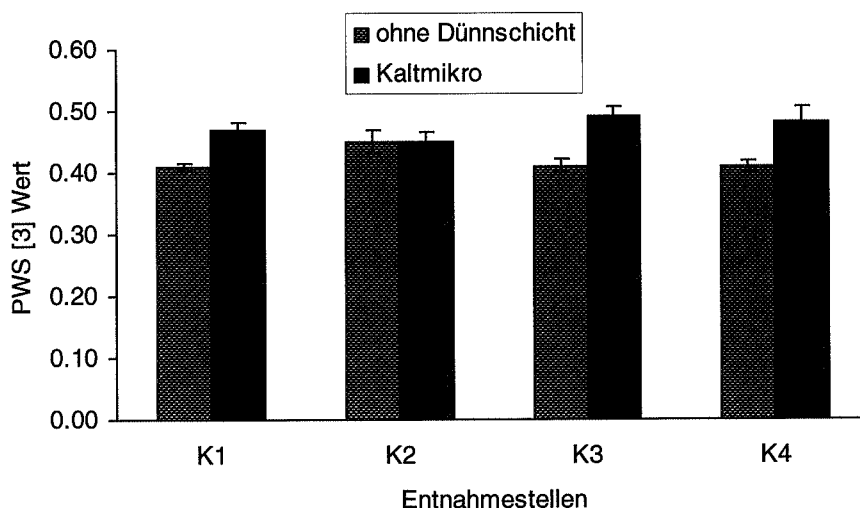


Abbildung 5.5.2: PWS 3 Werte für alle Entnahmestellen mit und ohne Dünnschichtbelag

5.6 Widerstand gegen Spurrinnenbildung

5.6.1 Kalte Dünnschichtbeläge

In den *Abbildungen 5.6.1* und *5.6.2* sowie in *Tabellen 5.6.1* bis *5.6.4* sind die Ergebnisse der Spurrinnenprüfung für die Entnahmestellen K1 bis K4 dargestellt.

Mit Ausnahme der Belagsausschnitte der Entnahmestelle K1 mit Dünnschichtbelag weisen alle Prüfkörper spätestens nach 10'000 Zyklen Spurrinntiefen von mehr als 10% auf, so daß die Prüfung abgebrochen werden mußte. Die Prüfkörper der Entnahmestelle K1, ohne Dünnschichtbelag, zeigen nach 10'000 Zyklen Spurrinntiefen von fast 14% und nach 30 000 Zyklen Spurrinntiefen von ca. 18%. Für die Prüfkörper derselben Entnahmestelle mit Dünnschicht ergibt sich bei 30'000 Zyklen eine mittlere relative Spurrinntiefe von 6.4%.

Für die Prüfkörper der Entnahmestelle K2 ohne Dünnschichtbelag erhält man nach 10'000 Zyklen eine mittlere Spurrinntiefe von 15% bzw. 10% für diejenigen mit Dünnschicht.

Alle Prüfkörper der Entnahmestelle K3 weisen bereits nach 1000 Zyklen relative Spurrinntiefen von mehr als 13.5% auf.

Die Prüfkörper der Entnahmestelle K4 ohne Dünnschicht zeigen nach 3000 Zyklen eine mittlere Spurrinntiefe von fast 20% und einer der Prüfkörper mit Dünnschichtbelag besitzt bereits nach 1000 Zyklen eine relative Spurrinntiefe von 18.5%.

Mit Ausnahme der Belagsausschnitte der Entnahmestelle K1 mit Dünnschichtbelag weisen alle Prüfkörper bereits nach wenigen Zyklen extrem hohe Spurrinntiefen auf. Nur in diesem Fall zeigt sich durch das Aufbringen des Dünnschichtbelags eine nachweisbare Verbesserung des Verformungsverhaltens.

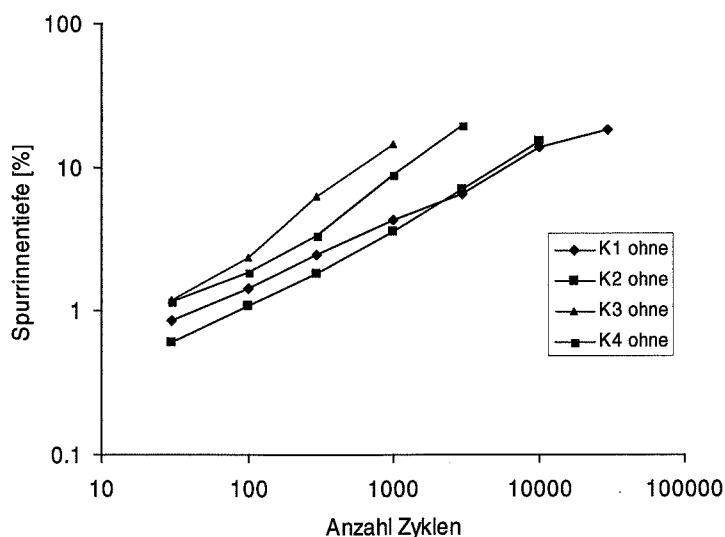


Abbildung 5.6.1: Spurrinntiefe der Entnahmestellen K1...K4 ohne Dünnschicht

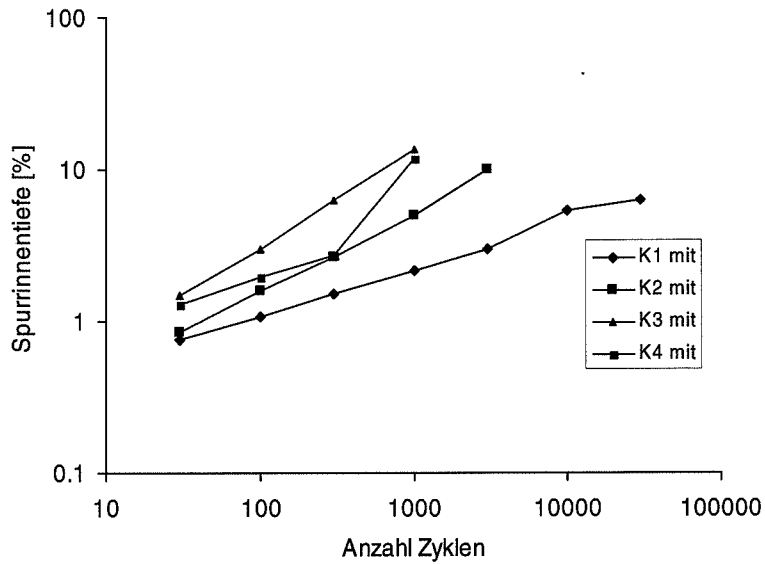


Abbildung 5.6.2: Spurrinnentiefe der Entnahmestellen K1...K4 mit Dünnschicht

Tabelle 5.6.1: Ergebnisse der Entnahmestelle K1

			Mittelwert (N=2) ohne Dünnschicht	Mittelwert (N=2) mit Dünnschicht
Spurrinnentiefe [%] bei	30	Zyklen	0.86	0.75
	100	Zyklen	1.44	1.08
	300	Zyklen	2.47	1.52
	1000	Zyklen	4.28	2.14
	3000	Zyklen	6.46	3.01
	10000	Zyklen	13.85	5.38
	30000	Zyklen	18.22	6.35

Tabelle 5.6.2: Ergebnisse der Entnahmestelle K2

			Mittelwert (N=2) ohne Dünnschicht	Mittelwert (N=2) mit Dünnschicht
Spurrinnentiefe [%] bei	30	Zyklen	0.60	0.84
	100	Zyklen	1.09	1.59
	300	Zyklen	1.79	2.65
	1000	Zyklen	3.55	4.99
	3000	Zyklen	6.92	9.89
	10000	Zyklen	15.08	*
	30000	Zyklen	*	*

* Aufgrund der großen Spurrinnentiefe waren keine weiteren Messungen mehr möglich

Tabelle 5.6.3: Ergebnisse der Entnahmestelle K3

			Mittelwert (N=2) ohne Dünnschicht	Mittelwert (N=2) mit Dünnschicht
Spurrinnentiefe [%] bei	30	Zyklen	1.19	1.48
	100	Zyklen	2.36	2.99
	300	Zyklen	6.22	6.24
	1000	Zyklen	14.55	13.55
	3000	Zyklen	*	*
	10000	Zyklen	*	*
	30000	Zyklen	*	*

* Aufgrund der großen Spurrinnentiefe waren keine weiteren Messungen mehr möglich

Tabelle 5.6.4: Ergebnisse der Entnahmestelle K4

			Mittelwert (N=2) ohne Dünnschicht	Mittelwert (N=2) mit Dünnschicht
Spurrinnentiefe [%] bei	30	Zyklen	1.16	1.28
	100	Zyklen	1.84	1.95
	300	Zyklen	3.31	2.71
	1000	Zyklen	8.78	11.80
	3000	Zyklen	19.49	*
	10000	Zyklen	*	*
	30000	Zyklen	*	*

* Aufgrund der großen Spurrinnentiefe waren keine weiteren Messungen mehr möglich

5.6.2 Heiße Dünnschichtbeläge

In den *Abbildungen 5.6.3* und *5.6.4* sowie in *Tabellen 5.6.5* und *5.6.6* sind die Ergebnisse der Spurrinnenprüfung für die Entnahmestellen H1 bis H2 dargestellt.

Bei Entnahmestelle H1 weist bereits der HMT-Belag Spurrinnen von mehr als 10% auf, während der HMT Belag der Entnahmestelle H2 mit einer Spurrinnentiefe von 4 mm nach 30'000 Zyklen relativ widerstandsfähig ist. Beide Dünnschichtbeläge weisen nach 30'000 bzw. schon nach 10'000 Zyklen Spurrinnentiefen von mehr als 10% auf, wobei Entnahmestelle H1 sicher auch aufgrund des schwachen Deckbelags schlechter abschneidet.

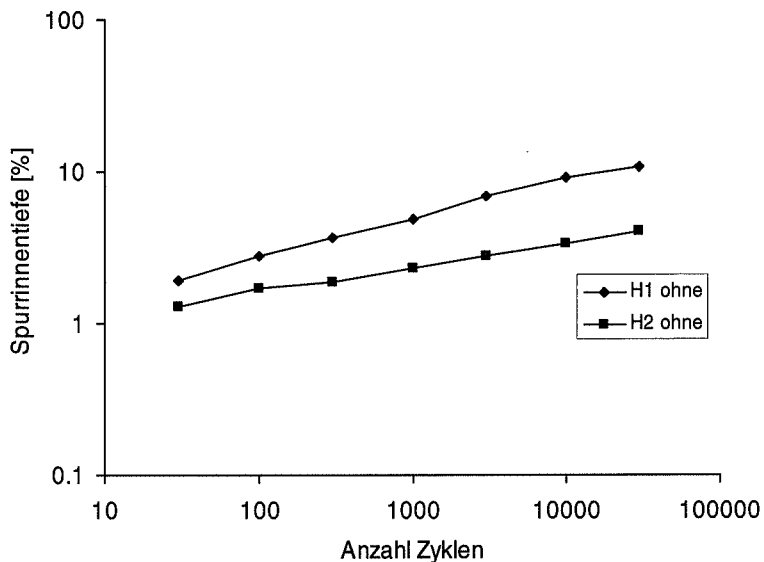


Abbildung 5.6.3: Spurrinntiefe der Entnahmestellen H1 und H2 ohne Dünnschicht

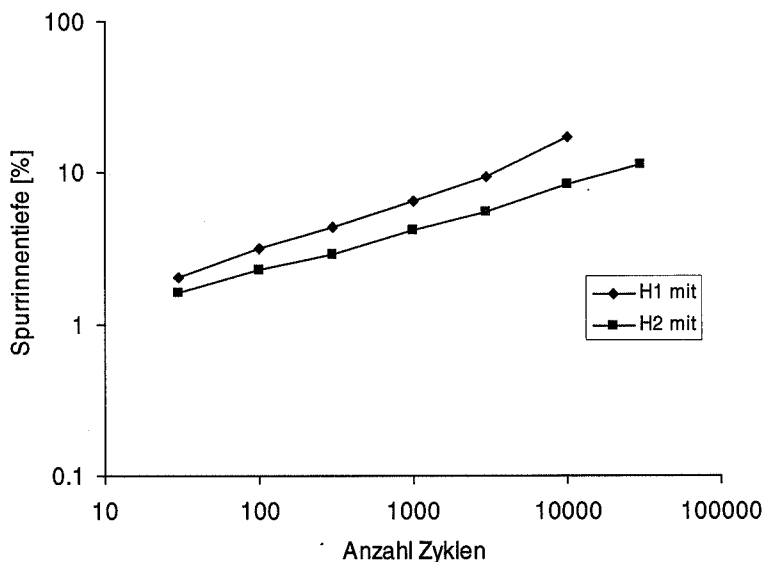


Abbildung 5.6.4: Spurrinntiefe der Entnahmestellen H1 und H2 mit Dünnschicht

Tabelle 5.6.5: Ergebnisse der Entnahmestelle H1

			Mittelwert (N=2) ohne Dünnschicht	Mittelwert (N=2) mit Dünnschicht
Spurrinntiefe [%] bei	30	Zyklen	1.94	2.04
	100	Zyklen	2.79	3.19
	300	Zyklen	3.66	4.41
	1000	Zyklen	4.88	6.50
	3000	Zyklen	6.97	9.30
	10'000	Zyklen	9.03	17.10
	30'000	Zyklen	10.77	*

* Aufgrund der großen Spurrinntiefe waren keine weiteren Messungen mehr möglich

Tabelle 5.6.6: Ergebnisse der Entnahmestelle H2

			Mittelwert (N=2) ohne Dünnschicht	Mittelwert (N=2) mit Dünnschicht
Spurrinnentiefe [%] bei	30	Zyklen	1.30	1.62
	100	Zyklen	1.69	2.29
	300	Zyklen	1.88	2.87
	1000	Zyklen	2.30	4.13
	3000	Zyklen	2.76	5.47
	10'000	Zyklen	3.32	8.45
	30'000	Zyklen	4.06	11.31

* Aufgrund der großen Spurrinnentiefe waren keine weiteren Messungen mehr möglich

6 ZUSAMMENFASSUNG

6.1 Übersicht

6.1.1 Kalte Dünnschichtbeläge

Tabelle 6.1.1 zeigt eine Zusammenfassung der Änderung der Eigenschaft durch das Aufbringen eines kalten Dünnschichtbelags bzw. im Fall der Prüfung der Schichthaftung, die ja nur an Belägen mit Dünnschicht durchgeführt wurde, eine Beurteilung der gemessenen Eigenschaft. Dabei sind die aufgeführten Symbole folgendermaßen definiert:

- Im Fall Änderung der Eigenschaft: ↑ Verbesserung der Eigenschaft durch Mikrobelag, ↓ Verschlechterung der Eigenschaft durch Mikrobelag, = Eigenschaft bleibt gleich
- Im Fall Beurteilung der Eigenschaft: + gut, ++ sehr gut, - schlecht

Tabelle 6.1.1: Änderung der Eigenschaft durch Mikrobelag für Entnahmestellen K1 bis K4

	K1	K2	K3	K4
Haftzugprüfung	++	+	+	+ [*]
Abscherprüfung	+	+	+	+
Wasserempfindlichkeit	=	↑	↓	=
Mechanische Eigenschaften KAST	=	=	=	(↓) ^{**}
Griffigkeit SRT Pendel	↑	↓	↑	↓
Griffigkeit nach Wehner-Schulze	↑	↑	↑	↑
Widerstand gegen Spurrinnenbildung	↑	(↓) ^{***}	=	(↓) ^{***}

* Entnahmestelle K4 ist am schlechtesten

** Resultat beruht auf nur einem Meßwert für de Belag mit Dünnschicht

*** Resultate mit und ohne Dünnschicht sind so schlecht, daß Verschlechterung unerheblich

Somit ergibt sich im Fall der kalten Dünnschichtbeläge durch Aufbringen eines Dünnschichtbelags mit K1 generell die größte und mit K4 die kleinste Verbesserung.

6.1.2 Heiße Dünnschichtbeläge

Tabelle 6.1.2 zeigt eine Zusammenfassung der Änderung der Eigenschaft durch Aufbringen eines heißen Dünnschichtbelags bzw. im Fall der Prüfung der Schichthaftung, die ja nur an Belägen mit Dünnschicht durchgeführt wurde, eine Beurteilung der gemessenen Eigenschaft.

Tabelle 6.1.2: Änderung der Eigenschaft durch Dünnschichtbelag für Entnahmestellen H1 und H2

	H1	H2
Haftzugprüfung	*	*
Abscherprüfung	+	++
Wasserempfindlichkeit	↓	↑
Mechanische Eigenschaften KAST	(↓)**	(↓)**
Widerstand gegen Spurrinnenbildung	↓	↓

* Beurteilung schwierig, da uneinheitlich für Riegel und Bohrkern

** Wert nicht aussagekräftig, da Eigenschaften einer DS mit denen einer HMT verglichen werden

Im Fall der heißen Dünnschichtbeläge ist die erzielte Verbesserung bei H2 größer als bei H1.

6.2 Allgemeines

Wie bereits früher erläutert, handelt es sich bei den im Rahmen der Forschungsarbeit untersuchten Dünnschichtbelägen grundsätzlich um zwei verschiedene, hinsichtlich Wirkungsweise und mechanischer Eigenschaften nicht vergleichbare Systeme: Zum einen nämlich um die kalt eingebauten Systeme, d.h. sehr dünne Beläge mit einer Dicke kleiner 20 mm, und zum anderen um die im Heißeinbau erstellten Dünnschichtbeläge, wo wir es mit dünnen Beläge mit einer Dicke von 20 bis 40 mm zu tun haben. Handelt es sich beim Aufbringen eines ca. 30 mm dicken heißen Dünnschichtbelags tatsächlich um eine grundlegende Erneuerung, stellt die Sanierung mit einem Kaltmikrobelag in der Regel eine vorläufige Sanierung zur Rißüberbrückung oder zum Ausgleich von leichten Spurrinnen dar, auch wenn mit dieser Sanierungsart nach bisherigen Erfahrungen Lebensdauererlängerungen des Belagsaufbaus von immerhin zwischen 4 bis 8 Jahren erzielt werden konnten.

Bei den heiß eingebauten Dünnschichtbelägen stellte die Tatsache, daß diese hier nicht direkt auf den alten Deckbelag aufgebracht wurden, sondern, daß im Rahmen der Sanierung auch eine neue Tragschicht eingebracht wurde, ein weiteres Problem für den Vergleich der Eigenschaften vor und nach der Sanierung dar. Deshalb erscheint auch der Vergleich der mechanischen Eigenschaften durch die Bestimmung des Moduls (KAST) im Fall der heißen Dünnschichtbeläge wenig sinnvoll, da hier nicht die mechanischen Eigenschaften vor und nach der Sanierung sondern diejenigen einer neuen Heißmischtragschicht HMT mit denjenigen einer Kombination aus neuer Heißmischtragschicht und neuem Deckbelag verglichen werden.

Im Falle der kalten Dünnschichten zeigte sich, daß alle im Rahmen des Projektes untersuchten Beläge nicht nur nach der gleichen Rezeptur zusammengesetzt waren, sondern vielmehr sogar vom gleichen Bindemittellieferanten kamen. Weiterhin wiesen sie, bis auf eine Entnahmestelle, auch gleiche Mineralstoffe auf, wodurch Unterschiede zwischen den einzelnen Entnahmestellen weitgehend auf Unterschiede im vorhandenen Belagsaufbau (ehemalige Deckschicht) bzw. auf lokale Einbauunterschiede zurückgeführt werden müssen.

6.3 Schichtenverbund

Da der Verbund zur Unterlage gerade für dünne Schichten extrem wichtig ist, sind gute Verbundeigenschaften eine unabdingbare Voraussetzung für die Haltbarkeit und Dauerhaftigkeit solcher Belagsaufbauten.

Bei der Abscherprüfung ergeben sich für die kalt eingebauten Beläge relativ geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Entnahmestellen. Auch wenn in der Schweizer Norm bisher keine Vorgaben für kalt eingebaute Dünnschichtbeläge existieren, kann die Haftung als gut bezeichnet werden, da alle Entnahmestellen die Anforderung von 15 kN erfüllen, wie sie in der Schweizer Norm für die Scherkraft zwischen Deck- und Tragschichten vorgeschrieben ist.

Bei der Haftzugprüfung treten dagegen Unterschiede zwischen den Entnahmestellen deutlicher zutage, wobei die am Riegel und am Bohrkern ermittelten Ergebnisse für die meisten Entnahmestellen gut übereinstimmen, weshalb die Haftzugprüfung sich im Fall kalter Dünnschichtbeläge gut zur Bestimmung des Schichtenverbundes eignet.

Die Ergebnisse der Haftzugprüfung an den beiden heiß eingebauten Dünnschichtbelägen zeigen dagegen keine klare Rangfolge zwischen den Belägen. Auch besteht hier keine Übereinstimmung zwischen den mit einem Durchmesser 50 mm bzw. 100 mm am Riegel ermittelten Ergebnissen. Insgesamt liegen die Ergebnisse der Haftzugprüfung für die heiß eingebauten Dünnschichtbeläge höher als diejenigen der kalt eingebauten Dünnschichtbeläge. Dies ergibt sich auch im Fall der Abscherprüfung an den heiß eingebauten Belägen, wo die in der Norm vorgeschriebenen 15 kN an beiden Entnahmestellen problemlos erreicht werden. Aufgrund dieser Ergebnisse muß die Haftzugprüfung für heiße Dünnschichtbeläge als ungeeignet eingestuft werden.

6.4 Wasserempfindlichkeit

In Bezug auf die Wasserempfindlichkeit scheint es weder für die „alten Deckschichten“ noch bei den Dünnschichtbelägen Probleme zu geben. Bis auf eine Entnahmestelle, wo der alte Deckbelag bzw. die Kombination alter Deckbelag/kalte Dünnschicht die Forderung der Schweizer Norm von

mindestens 80% knapp unterschreitet, liegen die Werte aller Entnahmestellen (kalt und heiß eingebaute Beläge) deutlich über den geforderten 80%. Interessant ist, daß nicht in jedem Fall (K1, K3 und H1) durch das Aufbringen einer Dünnschicht eine Verbesserung der Wasserempfindlichkeit erzielt werden kann. Dabei darf aber nicht vergessen werden, daß selbst im Fall einer Sanierung aufgrund von Rissen, die Bohrkerne der Entnahmestellen K1 bis K4 „ohne Dünnschicht“ in der Regel keine Risse aufweisen und sich daher die Wasserempfindlichkeit der gesamten Strecke durch das Aufbringen einer Dünnschicht aber durchaus verbessert haben dürfte. Im Fall der Entnahmestellen mit heißer Dünnschicht handelt es sich bei den Bohrkernen „ohne Dünnschicht“ um neue HMT-Schichten, die selbst auch dem Wasserempfindlichkeitskriterium genügen sollten.

6.5 Mechanische Eigenschaften: KAST

Für die kalt eingebauten Dünnschichtbeläge zeigen sich praktisch keine Unterschiede zwischen den Werten ohne und mit Dünnschicht, was aufgrund der geringen Schichtdicke auch nicht weiter erstaunlich ist.

Bei den heiß eingebauten Dünnschichten ist, im konkreten Fall, ein Vergleich der mechanischen Eigenschaften wenig sinnvoll, da hier nicht die mechanischen Eigenschaften vor und nach der Sanierung, sondern diejenigen einer neuen HMT mit denjenigen einer Kombination aus neuer HMT und neuem Deckbelag verglichen wurden. So zeigte sich, daß die neue Deckschicht mechanisch schwächer ist als die neuen HMT-Beläge, was natürlich aufgrund des geringeren Größtkorns plausibel erscheint.

6.6 Griffigkeitsuntersuchung

Wie bereits eingangs beschrieben, wurde die Griffigkeitsuntersuchung nur für die kalt eingebauten Dünnschichtbeläge durchgeführt, da diese oft auch zur Verbesserung der Griffigkeit eingesetzt werden.

Die mit dem SRT Pendel bestimmten Werte zeigen, daß die Griffigkeit nach dem Aufbringen eines Kaltmikrobelages nicht notwendigerweise höher ist, als diejenige des Belags vor der Sanierung, wobei die Ergebnisse der SRT Werte für die einzelnen Dünnschichtbeläge, bis auf Entnahmestelle K3, die einen deutlich höheren Wert aufweist, vergleichbar sind. Kann für die Anfangsgriffigkeit nach SRT Pendeltest keine eindeutige Verbesserung des Griffigkeitsverhaltens durch das Aufbringen einer kalten Dünnschicht nachgewiesen werden, machen die Resultate für PWS 3 nach Wehner-Schulze deutlich, daß das Griffigkeitsverhalten der Belagsoberfläche durch das Aufbringen eines Kaltmikrobelags eindeutig verbessert werden kann.

6.7 Widerstand gegen Spurrinnenbildung

Mit Ausnahme der Belagsausschnitte einer Entnahmestelle weisen alle Prüfkörper mit kaltem Dünnschichtbelag bereits nach wenigen Zyklen extrem hohe Spurrinntiefen auf, wobei diese Ergebnisse sicher im wesentlichen auch durch die ebenfalls geringe Widerstandsfähigkeit der alten Deck- und Tragschichten beeinflusst wird. Zudem läßt die geringe Dicke der Schicht einen Beitrag zur Widerstandsfähigkeit gegen Spurrinnenbildung auch nicht wahrscheinlich erscheinen. Nur in einem Fall zeigt sich hier eine nachweisbare Verbesserung des Verformungsverhaltens durch das Aufbringen des Dünnschichtbelags.

Ähnliches gilt auch für die heiß eingebauten Dünnschichtbeläge, die ebenfalls nur eine sehr geringe Widerstandsfähigkeit gegen Spurrinnenbildung besitzen.

7 UMSETZUNG UND EMPFEHLUNGEN

Die bei der Durchführung der Forschungsarbeit gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen, daß das Thema „Dünnschichtbeläge“ im Rahmen einer einzigen Forschungsarbeit nicht erschöpfend behandelt werden konnte, wobei es in Zukunft wichtig ist, grundsätzlich zwischen den im Heißeinbau hergestellten Dünnschichtbelägen mit einer Dicke größer 20 mm und Kaltmikrobelägen mit einer Dicke kleiner 20 mm zu unterscheiden.

Erstere können weitgehend nach den auch für andere im Heißeinbau eingebrachte Beläge gültigen Normen und Vorschriften geprüft werden. So zeigen die im Rahmen der Untersuchungen durchgeführten Schichtenverbunduntersuchungen, daß die mit der direkten Scherprüfung bestimmte Schichthaftung durchaus Werte erreicht, wie sie für heiß eingebaute Deckschichten üblich sind. Zur Festlegung von Anforderungswerten reicht aber die Anzahl von zwei untersuchten Belägen nicht aus.

Außerdem sollte in weiteren Forschungsprojekten für die Abscherprüfung abgeklärt werden, wie sich unterschiedliche Dünnschichtbelagsarten wie SMA, AB oder MR im einzelnen verhalten, d.h. ob es grundsätzliche Unterschiede beim Schichtenverbund gibt. Die Prüfung des Verbundes heiß eingebauter Dünnschichtbeläge mit Hilfe der Haftzugprüfung kann dagegen aufgrund der durchgeführten Untersuchungen nicht empfohlen werden, da die Ergebnisse der Haftzugprüfung hier keine klare Aussage ermöglichen. So ermöglicht die Haftzugprüfung für die beiden heiß eingebauten Dünnschichtbeläge keine eindeutige Aussage, da keinerlei Übereinstimmung zwischen den am Riegel und am Bohrkern ermittelten Ergebnissen besteht.

Für die im Kalteinbau erstellten Dünnschichtbeläge können aufgrund der durchgeführten Untersuchungen Empfehlungen zur Prüfung der Schichthaftung und des Griffigkeitsverhaltens

gemacht werden, wobei nicht ganz außer acht gelassen werden darf, daß alle im Rahmen der Forschungsarbeit untersuchten Kaltmikrobeläge im wesentlichen identisch sind.

Da der Verbund zur Unterlage gerade für sehr dünne Schichten extrem wichtig ist, sind gute Verbundeigenschaften eine unabdingbare Voraussetzung für die Haltbarkeit und Dauerhaftigkeit solcher Belagsaufbauten. Hier konnte sowohl anhand der direkten Abscherprüfung mit aufgeklebter Stahlplatte als auch mit Hilfe der Haftzugprüfung (In-situ- und Laborvariante) gezeigt werden, daß die Schichthaftung von Kaltmikrobelägen auf diese Weise geprüft werden kann und daß dabei durchaus akzeptable Werte für den Verbund erreicht werden. Im Fall der Kaltmikrobeläge scheint dabei insbesondere auch die Haftzugprüfung als In-situ- oder als Laborvariante verwertbare Aussagen zu liefern, wobei für die Festlegung von Anforderungswerten ein Bewertungshintergrund geschaffen werden müßte.

Das in Deutschland entwickelte Prüfverfahren nach Wehner-Schulze dient der Verkehrssimulation und der Messung des Griffigkeitswertes PWS auf unterschiedlichen Beanspruchungsstufen. Der PWS-Wert gibt dabei Auskunft über den Widerstand einer Belagsoberfläche gegen die polierende Wirkung von Fahrzeugreifen.

Die Resultate der Untersuchung von Kaltmikrobelägen machen dabei deutlich, daß das Griffigkeitsverhalten der Belagsoberfläche durch das Aufbringen eines Kaltmikrobelags eindeutig verbessert werden kann. Sie zeigen insgesamt, daß das Prüfverfahren nach Wehner-Schulze durchaus für eine Prognose der Griffigkeitsentwicklung eines kalten Dünnschichtbelages herangezogen werden kann, wobei das in der Schweiz bisher nicht übliche Verfahren ebenfalls im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten auf seine Aussagefähigkeit hin überprüft werden müßte.

Von einer Beurteilung des Griffigkeitsverhaltens mit dem SRT-Pendel sollte nach den im Bericht dargestellten Ergebnissen in diesem Fall eher verzichtet werden.

Ebenso können aufgrund des früher gesagten weder aus den im Rahmen des Forschungsberichts durchgeführten Untersuchung der mechanischen Eigenschaft mit der koaxialen Schubprüfung noch aus der Prüfung des Widerstands gegen Spurrinnenbildung Erkenntnisse über die Verbesserung eines Belages durch das Aufbringen eines Dünnschichtbelags gewonnen werden. Die Untersuchung des Widerstandes gegen Spurrinnenbildung kann aber im Fall der hochstandfesten, heißen Dünnschichtbeläge durchaus ihre Berechtigung haben.

Die Prüfung der Wasserempfindlichkeit, wie sie in Abschnitt 4.8 beschrieben wird, dient ebenfalls der Abklärung, inwieweit die Dünnschichtbeläge dem Kriterium eines TSR von mind. 80% genügen. Allerdings ist die Prüfung der Wasserempfindlichkeit in der Schweiz sowohl im Hinblick auf die Methode als auch im Hinblick auf die Anforderungswerte generell noch in einer Erprobungsphase,

deren Entwicklung in naher Zukunft sicher auch durch die europäische Normung nicht unwesentlich beeinflusst werden wird.

In *Tabelle 7.1* sind nochmals alle Empfehlungen zur Prüfung von kalt und heiß eingebauten Dünnschichtbelägen aufgeführt, wobei in allen Fällen die Validierung der Verfahren und die Schaffung eines Bewertungshintergrundes noch ausstehen.

Tabelle 7.1: Empfehlungen zur Prüfung von kalt und heiß eingebauten Dünnschichtbelägen

	Prüfungsempfehlung	Methode
Kalte Dünnschichtbeläge		
	Haftzugprüfung	In-Situ- oder Laborvariante der Haftzugprüfung mit Bohrkern-durchmesser von 100 mm
	Abscherprüfung	Abscherprüfung nach schweiz. Norm mit aufgeklebter Stahlplatte
	Wasserempfindlichkeit	Je 6 Prüfkörper trocken und naß, Spaltzugprüfung zur Bestimmung TSR
	Griffigkeit nach Wehner-Schulze	Prüfung nach deutscher Norm
Heiße Dünnschichtbeläge		
	Abscherprüfung	Abscherprüfung nach schweizer Norm
	Wasserempfindlichkeit	Je 6 Prüfkörper trocken und naß, Spaltzugprüfung zur Bestimmung TSR
	Widerstand gegen Spurrinnenbildung im Fall hochstandfester Beläge	Prüfung nach schweiz. bzw. französischer Norm

8 WEITERES VORGEHEN

Bei der hier dargestellten Forschungsarbeit handelt es sich um eine erste Untersuchung verschiedener im Heiß- und Kalteinbau erstellter Dünnschichtbeläge, die keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann. Dafür ist die Anzahl der verfügbaren, untersuchten Beläge und Belagssorten zu gering und zu wenig unterschiedlich. Insbesondere bei den Kaltmikrobeläge handelt es sich in allen Fällen um in der Zusammensetzung praktisch identische Beläge.

In weiteren Forschungsarbeiten sollte daher zum einen generell zwischen heiß und kalt eingebauten Dünnschichtbelägen unterschieden werden, zum anderen sollte eine größere Variationsbreite unter den kalt eingebauten Dünnschichtbelägen berücksichtigt werden; nötigenfalls begleitet durch gezielt im Labor unter definierten Bedingungen hergestellte Prüfkörper.

Für heiße Dünnschichtbeläge stellt sich hier sicher ein geringerer Forschungsbedarf, da diese Beläge weitgehend entsprechend der für andere heiß eingebaute Beläge geltenden Normen und Prüfvorschriften zur Anwendung kommen können. Auch wenn sich schon während der Evaluation von Versuchsstrecken gezeigt hatte, daß die Sanierung mit heißen Dünnschichtbelägen in der Schweiz von geringer Bedeutung ist, könnte sich diese Situation durch die Einführung der europäischen Normen und der damit verbundenen Änderung des Größtkorns von 6 auf 8 mm demnächst grundlegend wandeln und somit die Bedeutung heißer Dünnschichtbeläge wieder stärken.

9 DANK

In erster Linie möchten wir uns bei dem Bundesamt für Straßen ASTRA und dem schweizerischen Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS bedanken, welche mit ihrer Unterstützung die Durchführung dieser Arbeit erst ermöglicht haben.

Unser besonderer Dank gilt allen Mitarbeitern der Schweizer Kantone Aargau, Basel Land, St. Gallen und Zürich, namentlich Herrn S. Holliger, Herrn W. Muth, Herrn M. Grieder, Herrn U. Dahinden, Herrn H. Kästli, und Herrn U. Schellenberg sowie allen, die diese Forschungsarbeit mit großer Hilfsbereitschaft und Entgegenkommen unterstützt haben.

Ebenfalls würdigen möchten wir alle beteiligten Mitarbeiter der Abteilung Straßenbau/Abdichtungen, insbesondere Herrn H. Kienast, Herrn R. Takacs, Herrn M. Erb, Herrn S. Küntzel und Herrn C. Meierhofer.

10 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] E. Stahel, M. Blumer, Untersuchungen über das Langzeitverhalten von erneuerten Fahrbahnbelägen, Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement: Bundesamt für Straßenbau, Bericht Nr. 435, 1999
- [2] R.G. Hicks, James B. Sorenson Long-Term Pavement Performance Program: Making Something of It, 2001. Published by American Society of Civil Engineers (ASCE), ISBN: 0-7844-0570-0, Stock Number: 40570
- [3] Raab, C., Partl, M. N., Anderegg, P., Brönnimann, R.: Two Years Experience with a New Long-Term Pavement Performance Monitoring Station on a Swiss Motorway. Proceedings of 3rd International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, 7th-10th July, Minho University, Guimarães, Portugal, pp263-271 (2003)
- [4] Dünne und sehr dünne bituminöse Beläge. Bericht der Kommission XVI ATR, FGSV, VSS, Schriftenreihe Heft 17, 1987
- [5] W. Glet, Aspekte bei der Anwendung dünner und sehr dünner Schichten im Asphaltstraßenbau, 1. Teil: Dünne Schichten im allgemeinen, Dünne Schichten im Heißeinbau, Bitumen 1/97, 1997
- [6] W. Glet, Aspekte bei der Anwendung dünner und sehr dünner Schichten im Asphaltstraßenbau, 2. Teil: Dünne Schichten im allgemeinen, Dünne Schichten im Kalteinbau, Bitumen 2/97, 1997
- [7] Dünne Schichten im Kalteinbau – DSK–, Hinweise und Anregungen für die Herstellung, Anwendung und den Einbau von Dünnen Schichten im Kalteinbau, Gütergemeinschaft AKB, Berlin
- [8] J. Carswell, The design and performance of thin surfacing layers, BP Oil International Bitumen Technology Unit UK, 2002
- [9] Herbert Buchta, Essay – Schlammeverfahren nach Oberbach, 2001
- [10] G. Allan, History of Road Slurry and Slurry Equipment – combined with the history of the International Slurry Surfacing Association, 5. ISSA Worldcongress Berlin, 2002

-
- [11] W. Glet, 5. Weltkongreß der Internationalen Slurry Surfacing Association (ISSA) in Berlin, 5. ISSA Worldcongress Berlin, 2002
- [12] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Erhaltung von Verkehrsflächen – Asphaltbauweisen (ZTV-BEA-StB 98), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1998
- [13] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 01), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2001
- [14] R. Barth, V. Schäfer, Eine Bauweise bekommt Konturen - Dünne Schichten im Heißeinbau auf Versiegelungen, Asphalt Heft 5, 2002
- [15] W. Glet, Schichtenverbund dünner Schichten im Kalteinbau, 5. ISSA Weltkongreß Berlin, 2002
- [16] Schweizer Norm SN 640 431b: *Asphaltbetonbeläge, Konzeption, Anforderungen, Ausführungen*. Verein Schweizerischer Straßenfachleute VSS, Zürich, 1997
- [17] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien ZTV-SIB 90, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1997
- [18] Schweizer Norm SN 671961 Bituminöses Mischgut, Bestimmung des Schichtenverbunds (nach Leutner), Verein Schweizerischer Straßenfachleute VSS, Zürich, 2000
- [19] C. Raab, M.N. Partl: *Neue Erkenntnisse zum Schichtenverbund von Asphaltbelägen*. Fachartikel, Bitumen 1/98
- [20] SN 640452c: "Heissmischfundationsschichten HMF: Anforderungen, Ausführung", Verein Schweizerischer Straßenfachleute VSS, Zürich, 1997
- [21] S. González Lakehal, "Prüfung der Wasserempfindlichkeit von Heißmischfundationsschichten". Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement: Bundesamt für Straßenbau, Bericht Nr. , 2000
- [22] British standard BS 812, part 3, edition 1975, supplements 1983.
- [23] Schweizer Norm SN 640961 Griffigkeit, Verein Schweizerischer Straßenfachleute VSS, Zürich, 1997

- [24] Technische Prüfvorschrift für Mineralstoffe im Straßenbau TP Min-StB Teil 5.5.2. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1999
- [25] S. Huschek, "Verkehrssimulationsprüfung an acht verschiedenen Deckschichten" Report No. 604, Fachgebiet Straßenbau, Technische Universität Berlin, 2002.
- [26] Norme française NF P 98-250-2, Kapitel 7.2.1.2 Compactage fort, Typ 2
- [27] G. Búdvityté, FE EMPA-Nr. 840475 "Hohlraum- und Rohdichteverteilung in Prüfkörpern für den LCPC-Spurrinntest, März 2001
- [28] Schweizer Norm SN 641 601-1a Prüfplan für bitumenhaltige Schichten - Anhang zur Empfehlung

11 ANHANG: ABKÜRZUNGEN

In diesem Bericht verwendete Abkürzungen:

A	Fläche
AB	Asphaltbeton
ASTRA	Bundesamt für Straßen (CH)
BS	British Standard
d	Durchmesser, Plattendicke
DIN	Deutsche Industrie Norm
DS	Deckschicht
DSH	Dünne Schichten im Heißeinbau
DSK	Dünne Schichten im Kalteinbau
DRA	Drainasphalt
F _{max}	Maximalkraft
GA	Gußasphalt
h	Höhe
H1...H2	Entnahmestellen mit heißen Dünnschichtbelägen
HMT	Heißmischtragschicht
HMF	Heißmischfundationsschicht
HR	Hot Rolled Asphalt
ISSA	International Slurry Surfacing Association
K1...K4	Entnahmestellen mit kalten Dünnschichtbelägen
KAST	Koaxialer Schub Test
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (F)
LTPP	Long-Term Pavement Performance
MR	Rauhasphalt
N	Anzahl Prüfkörper
ÖNORM	Österreichische Norm (A)
QS	Qualitätssicherung
PWS	Polierwert Wehner-Schulze
r	Radius
SAMI	Stress Absorbing Membrane Interlayer
SHRP	Strategic Highway Research Program (USA)
SMA	Splittmastixasphalt
SN	Schweizer Norm (CH)
SOP	Standard Operating Procedure
SRT	Skid Resistance Tester
SV	Schwerverkehr

TSR Tensil Strength Ratio
VSS Schweizerischen Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute
ZTV Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien

